

JAPANESE

[JP,05-318731,A]

CLAIMS DETAILED DESCRIPTION TECHNICAL FIELD PRIOR ART EFFECT OF THE INVENTION
TECHNICAL PROBLEM MEANS OPERATION EXAMPLE DESCRIPTION OF DRAWINGS DRAWINGS
CORRECTION OR AMENDMENT

[Translation done.]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] While it is open for free passage with a nozzle orifice, arranging a diaphragm and forming a pressure room To the ink jet type recording head which comes to fix the piezoelectric transducer in the longitudinal-oscillation mode in which the front end was fixed to said diaphragm The 1st process which retreats said diaphragm from a nozzle orifice to a position at the rate of extent in which impresses driver voltage to said piezoelectric transducer, and the meniscus of a nozzle orifice carries out the regurgitation from said nozzle orifice, The drive approach of the ink jet recording head which consists of the 2nd process which holds said diaphragm in said location, and the 3rd process to which said meniscus advances said diaphragm to a nozzle orifice side when the amount of retreat returns 1/3 or more.

[Claim 2] While it is open for free passage with a nozzle orifice, arranging a diaphragm and forming a pressure room In the equipment which drives the ink jet type recording head which comes to fix the piezoelectric transducer in the longitudinal-oscillation mode in which the front end was fixed to said diaphragm The 1st electrical potential difference which shrinks said piezoelectric transducer at the rate of extent in which the meniscus currently formed in said nozzle orifice carries out the regurgitation from said nozzle orifice, While generating the 2nd electrical potential difference which holds said piezoelectric transducer in the contraction condition, and the 3rd electrical potential difference which expands a piezoelectric transducer, it is said 2nd electrical potential difference $T \geq T_{im}$ (however, T) Time amount after, as for T_{im} , the 1st driver voltage reaches a stationary steady state in the holding time of the 2nd electrical potential difference again until a meniscus returns from the maximum retreat location to 1/3 is shown.

The driving gear of an ink jet type recording head to maintain.

[Claim 3] The ink jet type recording head driving gear of claim 2 which made the time constant of the 1st and/or the 3rd driver voltage 0.9 or more times of the proper oscillation period of said pressure room.

[Claim 4] The ink jet type recording head driving gear of claim 2 which made the time constant of the 3rd driver voltage 0.9 of the proper oscillation period of said piezoelectric transducer thru/or 1.2 times.

[Translation done.]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention carries out the variation rate of the elastic plate which forms the pressure room with a rod-like piezoelectric transducer, and relates to the drive technique of an ink jet recording head of compressing a pressure room with this variation rate, and making an ink droplet injecting from a nozzle orifice.

[0002]

[Description of the Prior Art] As shown in JP,2-24218,B as one of the ink jet recording heads used for a recording apparatus, what fixed the disc-like piezo-electric diaphragm to the elastic plate which constitutes a pressure room is used from the former. since such an ink jet recording head of a format has the small variation rate of a piezoelectric transducer -- effective area -- large -- not taking -- a pressure room is arranged in the part distant from the nozzle orifice which cannot obtain, therefore can secure a comparatively big area, and the structure of connecting between nozzle orifices in passage is adopted. Consequently, it not only causes enlargement of the whole recording head, but in order to make fluid resistance of each ink passage into homogeneity, there is a problem that complicated tuning is needed.

[0003] As shown in the U.S. Pat. No. 4697193 specification, a piezoelectric transducer is formed in the shape of a rod, and the ink jet recording head which makes this contact the elastic plate of a pressure room, carries out longitudinal oscillation, and generates an ink droplet is also proposed, in order to solve such a problem. The passage which connects a pressure room and a nozzle orifice not only becomes unnecessary, but [since according to this recording head a nozzle orifice can be made to be able to counter and a piezoelectric transducer can be arranged,] since a piezoelectric transducer can be made into a laminated structure, driver voltage could be reduced, since the resonant frequency of the piezoelectric transducer itself was still comparatively larger, the high-speed drive was attained, and it has the description of being able to aim at improvement in a print speed.

[0004] The so-called length stroke type which the ink jet recording head using such a longitudinal oscillation impresses [type] driver voltage to a piezoelectric transducer just before dot formation, shrinks [type] a piezoelectric transducer, subsequently makes driver voltage discharge, and generates an ink droplet by expanding of a piezoelectric transducer is adopted.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] When the actuation repeat frequency of a piezoelectric transducer be raise in order printing speed while use of the elastic energy beforehand accumulated in the piezoelectric transducer or the diaphragm be not only attain , but there be an advantage that positive drawing in of the ink to a pressure room can be aim at , when such a length stroke type be use , there be un-arrange [of dispersion arise in the location of the meniscus at the time of formation of an ink droplet , change the size and the rate of an ink droplet , and change printing quality] .

[0006] In order to avoid such a problem, while setting up the contraction rate of a piezoelectric transducer low as much as possible and lessening migration of a meniscus, the drive approach of holding fixed time amount and a piezoelectric transducer in the contraction condition until a meniscus returns to the original location and it stands it still, and impressing the 2nd driver voltage, and expanding a piezoelectric transducer is used. While stability of a quality of printed character can be aimed at according to such a drive approach, the new problem that the high-speed responsibility of the piezoelectric transducer itself cannot fully be employed efficiently arises. The place which this invention is made in view of such a problem, and is made into the purpose is proposing the drive approach of an ink jet recording head of having used the longitudinal-oscillation mode which can carry out a high-speed drive, maintaining a high quality of printed character. Moreover, the 2nd purpose of this invention is offering the equipment for realizing the above-mentioned approach.

[0007]

[Means for Solving the Problem] In order to solve such a problem, it sets to this invention. While making the nozzle plate in which the nozzle orifice was drilled counter, arranging a diaphragm and forming a pressure room To the ink jet type recording head which comes to fix the piezoelectric transducer in the longitudinal-oscillation mode which the tip was made to counter said nozzle orifice and was fixed to said diaphragm The 1st process which retreats said diaphragm from a nozzle orifice to a position at the rate of extent in which impresses driver voltage to said piezoelectric transducer, and the meniscus of a nozzle orifice carries out the regurgitation from said nozzle orifice, It had the 2nd process which holds said diaphragm in said location, and the 3rd process to which said meniscus advances said diaphragm to a nozzle orifice side when the amount of retreat returns 1/3 or more.

[0008]

[Function] Although a meniscus retreats from a nozzle orifice with contraction of a piezoelectric transducer, it becomes the flow which goes to a nozzle orifice at the next moment before and after contraction of a piezoelectric transducer stops. When the direction of the inertial flow of ink switches, it returns from the original location to about 1/3 and a piezoelectric transducer is expanded, the pressure by expanding of a piezoelectric transducer joins the ink near the nozzle orifice at inertial flow, and ink is made to fly from a nozzle orifice efficiently. And if a meniscus returns 1/3 or more from the original location, since an ink droplet will fly at a fixed rate [be / in the location of a meniscus / no ****], the configuration of the dot printed and size are stabilized.

[0009]

[Example] Then, based on the example illustrating the detail of this invention, it explains below. Drawing 1 and 2 show one example of the ink jet recording head using the longitudinal-oscillation mode in which the driving gear of this invention is applied, it carries out the laminating of a drive electrode and the piezo-electric oscillating ingredient to the shape of sandwiches, is constituted, and it is the piezoelectric transducer which vibrates in longitudinal-oscillation mode, and it is constituted [the sign 1 in drawing connects to juxtaposition the drive electrode which sandwiches a piezo-electric oscillating ingredient, and]. A drive on the same electrical potential difference can be attained in each piezo-electric oscillating layer, and an ink droplet can be made to form by about 30-volt driver voltage by taking such structure.

[0010] This piezoelectric transducer 1 is fixed to the base 9 by the insulating adhesives 7 with a comparatively big elastic modulus in an end, and the diaphragm 8 which consists of a high elasticity plate which constitutes the pressure room 10 through the pressure transfer member 2 at a tip is being fixed to the other end. And the nozzle plate 3 equipped with the nozzle orifice 4 as secured the diaphragm 8 and the fixed gap g is being fixed to the base 9 through the spacer 11. It is constituted so that supply of ink may be received from the ink tank which is not illustrated through the ink feeder current way 5 which the space formed of these diaphragms 8 and a nozzle plate 3 serves as the pressure room 10, and consists of a crevice formed in the base 9. And as shown in drawing 3, these nozzle orifices 4, 4, and 4 carry out two or more trains arrangement so that it may become alternate in the direction of vertical scanning, and printing with high dot density is constituted possible as much as possible.

[0011] In the condition that, as for the ink jet recording head with such structure, driver voltage is not impressed to the piezoelectric transducer 1, the meniscus 15 is mostly located in the front face of a nozzle orifice 4 (drawing 5 I). If the 1st driver voltage is impressed in the direction (drawing 4 sign a) to which this is made to reduce to a piezoelectric transducer 1 in this condition, elastic deformation also of the diaphragm 8 currently fixed at the tip of a piezoelectric transducer 1 will be carried out to a nozzle plate 3, and it will retreat from a nozzle orifice 4. Consequently, since the pressure room 10 is extended and the ink here moves in the direction of sign in drawing A, a meniscus 15 also retreats to a piezoelectric transducer 1 side. simultaneous -- as it is invited by the flow of this ink and Sign B shows from the ink feeder current way 5, ink flows into the pressure room 10 (drawing 5 II).

[0012] If the condition of having made the piezoelectric transducer 1 reducing is maintained, the ink of the pressure room 10 will produce flow C (drawing 5 III) which goes to a nozzle orifice side shortly according to inertia, and, thereby, a meniscus 15 will also start advance toward a nozzle orifice 4. When the driver voltage of a direction (drawing 4 sign b) which makes a piezoelectric transducer 1 elongate this in the process in which this meniscus is moving forward is impressed, a diaphragm 8 is pushed on a piezoelectric transducer 1 elastic deformation is carried out and the pressure room 10 is made to reduce to a nozzle orifice side. The pressure D which this generated is added to the inertial flow C (drawing 5 III) generated at the front process, is put together, and makes the ink of the pressure room 10 jump out of a nozzle orifice 4 outside as an ink droplet 16. Although the pressure produced by expanding of a piezoelectric transducer 1 makes flow E which goes to the ink feeder current way 5 from the pressure room 10 generated, since ** grade inhibition of it is carried out by the inertial flow B produced according to the front process, the pressure omission of the pressure room 10 will carry out ** grade reduction. (Drawing 5 IV) .

[0013] Drawing 6 shows one example of the equipment which drives an above-mentioned ink jet recording head, and it is the 1st switching circuit, the sign 20 in drawing consists of three transistors 21, 22, and 23, and when the electrical potential difference of H level is impressed to an input terminal 24, it is constituted so that it may become ON. 25 is the 2nd switching circuit, and when it consists of transistors 26 and 27, it connects with the input terminal 24 through the inverter 28 and the electrical potential difference of L level is impressed to an input terminal 24, it is constituted so that it may become ON. 29 is the capacitor which constitutes a time constant circuit, and when supply voltage VH receives charge through resistance 30 when the 1st switching circuit 20 becomes ON, and the 2nd switching circuit 25 becomes ON, it discharges through resistance 31. 32 is a current buffer, consists of transistors 33 and 34 and supplies the electrical potential difference proportional to the terminal voltage of a capacitor 29 to a piezoelectric transducer 1. If an input signal as shown in drawing 7 (I) by taking such circuitry is impressed to an input terminal 24, when a signal is set to L level, a transistor 22 will serve as OFF and driver voltage VP will start to an electrical potential difference VH. And the wave of the driver voltage VP impressed to a piezoelectric transducer 1 takes action linearly with fixed inclination for the current buffer 32 connected with the transistor 22 and the capacitor 29 at this to constitute the Miller integrator, as shown in this drawing (II). When driver voltage VP becomes equal to supply voltage VH, the rise of an electrical potential difference stops and the driver voltage VP between predetermined time is held after that at supply voltage VH. And when an input signal switches to H level, a capacitor 29 discharges through resistance 31, and the wave of the driver voltage VP of a piezoelectric transducer 1 falls so that it may start and the symmetry may be mostly made with the

time.

[0014] By the way, the capacitor 29 and resistance 30 and 31 which constitute the circuit decide on the build up time τ_1 and the falling time amount τ_2 of driver voltage ****. If R_2 and the electrical potential difference between base-emitters of transistors 20 and 26 are respectively set [the capacity of a capacitor 29 / C and the resistance of resistance 30] to V_{BE1} and V_{BE2} for the resistance of R_1 and resistance 32, time amount τ_1 and τ_2 will serve as $\tau_1 = C \times R_1 \times V_H / V_{BE1}$ $\tau_2 = C \times R_2 \times V_H / V_{BE2}$, respectively. Consequently, current I_P which flows to a piezoelectric transducer 1 $I_P = C_p \times V_H / \tau_1 = C_p \times V_{BE1} / (C \times R_1)$ $I_P = C_p \times V_H / \tau_2 = C_p \times V_{BE2} / (C \times R_2)$

It becomes. This circuit constitutes the current regulator circuit which passes a fixed current to a piezoelectric transducer 1 so that clearly also from time amount change of Current I_P .

[0015] On the other hand, a voltage stabilizer like drawing 24 is located in the circuit conventionally used as a drive circuit of a piezoelectric transducer. When driving a piezoelectric transducer in this voltage stabilizer current I_P' which flows to a piezoelectric transducer, and electrical-potential-difference V_P' impressed to a piezoelectric transducer change in nonlinear with time amount. That is, when the combined-resistance value of the charge resistance 60 and 61 is made into R_1' and the electrostatic capacity C_p of a piezoelectric transducer 62, it starts and current I_P' and electrical-potential-difference V_P' at the time are $I_P'(t) = V_H / R_1' \times \exp[-t / (C_p \times R_1')]$.

$V_P'(t) = V_H \times [1 - \exp\{-t / (C_p \times R_1')\}]$

It becomes. Although time amount until driver voltage ****' reaches supply voltage V_H becomes very long in such a circuit, the time amount t_0 which reaches temporarily the electrical potential difference which is satisfactory although a piezoelectric transducer deforms substantially by 0.9 times the supply voltage V_H , i.e., the time amount to which ****' (t) reaches $0.9 \times V_H$, becomes $t_0 = 2.3 \times C_p \times R_1'$. If charge resistance R_1' is set up as started in t_0 by time amount equal to the build up time τ_1 mentioned above here, the maximum of I_P' , i.e., $I_P'(0)$ will serve as $I_P'(0) = V_H / R_1' = V_H \times 2.3 \times C_p / \tau_1 = 2.3 \times I_P$. This shows that maximum current flows 2.3 times, in order to start an electrical potential difference by the same time amount to the current regulator circuit which the voltage stabilizer mentioned above. Moreover, when falling, the same gestalt is completely shown. Since the maximum current value which flows in a circuit can be decreased even if it makes small the charging time or a charging time value by using the current regulator circuit shown by this example as compared with the conventional drive circuit, as explained above, the components which constitute a drive circuit can be made small and low cost-ization of a circuit can be attained.

[0016] Drawing 7 is the wave form chart showing actuation of an above-mentioned drive circuit, if a signal as shown in drawing 7 (I) from host equipment inputs into an input terminal, when a signal switches from H level to L level (T1), the 1st switching circuit 20 will serve as ON, and a capacitor 29 will be charged through resistance 30. It changes that this charging current is also at a time constant τ_1 , and the electrical potential difference which rises at a fixed rate by the mirror integral function to coincidence at a piezoelectric transducer 1 is impressed. A piezoelectric transducer 1 will be reduced at uniform velocity by this **, a diaphragm 8 retreats at uniform velocity too, and the pressure room 10 is expanded, and a meniscus also retreats with time amount (this drawing IV).

[0017] When the terminal voltage V_P of a piezoelectric transducer 1 rises to supply voltage V_H (T2), electrical-potential-difference change stops and, as a result, expansion of the pressure room 10 is also suspended. Predetermined time (holding time T) continuation of the condition that such a pressure room 10 was expanded is carried out, and an input signal switches from L level to H level by (T3) the time of returning to the position which a meniscus mentions later. Consequently, the 2nd switching circuit 25 serves as ON, and discharges through resistance that the charge accumulated in the capacitor 29 is also at a time constant τ_2 . By this, it decreases at a fixed rate, and in connection with this, a piezoelectric transducer 1 will develop at uniform velocity, and the terminal voltage V_P of a piezoelectric transducer 1 will compress the pressure room 10 at a fixed rate.

[0018] In addition, although the example was taken and explained to the piezoelectric transducer which reduces by charge in this example, and is elongated by discharge In using the piezoelectric transducer of the type which reduces by discharge and is elongated by charge The standup time constant τ_1 , the holding time T which make a symmetry line 0-volt level as shown in drawing 9 using the driving signal which switches from L level to H level, and switches from H level subsequently to L level And it is clear by generating the driver voltage of the falling time constant τ_2 that same actuation can be carried out.

[0019] By the way, impress the 1st driver voltage to an ink jet recording head, a piezoelectric transducer 1 is made to reduce, as mentioned above, the meniscus currently formed in the nozzle orifice by this is retreated from the front face of a nozzle orifice, and the behavior of the ink in the drive approach of this invention which chooses the time of retreat of this meniscus being reversed at its own discretion, and is expanded piezoelectric transducer 1 is further explained in full detail by the simulation. The simulation of the behavior of the ink at the time of using the ink of Pas the viscosity of 10mm is carried out to the recording head constituted so that the gap g of a nozzle plate 3 and a diaphragm 8 might be set to 80 micrometers using the sound model shown in drawing 10, and the result is shown in drawing 18 from drawing 11. [in / in the diameter of a nozzle orifice / 40 micrometers and a idle state]

[0020] This model is the lumped constant circuit of the acoustical system which considered that each part of an ink jet head was a concentrated constant, and modeled it. 40 is a lumped constant circuit showing the nozzle section, and the pressure source 44 of a meniscus 15, the inertance 45 of a nozzle orifice, and resistance 46 are connected to the serial. 41 is a lumped constant circuit the bottom wholly as a simple-harmonic-motion system about a piezoelectric transducer 1 and a diaphragm 8, and joins the pressure generation source 48 and the rigid compliance 49 by applied voltage, resistance 50, and an

inertance 57 to a serial, 42 is a lumped constant circuit showing the pressure room 10, and connects resistance 52 and an inertance 53 to a serial. 43 is a lumped constant circuit showing deformation of the pressure room 10 whole, and is expressed in the rigid compliance 55. The lumped constant circuit of the whole ink jet head is the configuration of having connected lumped constant circuits 40, 41, 42, and 43 to juxtaposition. And an inertance 45 and resistance 46 when the meniscus 15 is filling the nozzle orifice 4 completely take a larger value than an inertance 45 and resistance 46 when the meniscus 15 is drawn. consequently, a simulation is performed as a nonlinear device which changes the pressure 44 and inertance 45 which constitute the lumped constant circuit 40 of the nozzle section, and resistance 46 according to the amount of drawing in of a meniscus 15 -- things -- ** By carrying out such and performing a simulation, if the pressure generation source 48 is driven, a pressure plate 8 can know the volume velocity U_n , U_c , and U_s of the ink of each part which ink is eliminated with volume velocity U_v , consequently changes unsteadily. And the behavior of the free surface can be given for the simulation result of the volume velocity U_n of the nozzle section as boundary condition of the general-purpose finite difference method model [handling / a model], and the flight gestalt of the behavior of a meniscus or an ink droplet can be acquired. In addition, the resonant frequency of the vibration system which consists of inertances 45 and 53 and rigid compliance 55 is pointed out with the resonance frequency of a pressure room.

[0021] The 1st driver voltage which changes with fixed inclination is impressed to a piezoelectric transducer for 10 microseconds, the free behavior of the meniscus near [when continuing holding this electrical potential difference after that] the nozzle orifice is shown, retreat of a meniscus continues from a driver voltage impression point in time (this drawing I) to 10 microseconds (VI), and, subsequently to a nozzle orifice side, a meniscus reverses drawing 11 . And if 22 microseconds pass since impression of driver voltage (XII), an ink droplet will develop even into a projection and the liquid column which is finally extent which can form a drop outside from a nozzle orifice 4 (XXI).

[0022] While drawing 12 thru/or the drawing 18 Fig. choose as 10 microseconds the time constant of the process to which a piezoelectric transducer 1 is made to reduce, and the process which expands a piezoelectric transducer, respectively, it changes time amount, i.e., the holding time mentioned above, until it expands a piezoelectric transducer from termination of the contraction process of a piezoelectric transducer, and shows the flow of the ink near [when the location of various menisci impresses the 2nd driver voltage and shrinks a pressure room] the nozzle orifice. The condition of the ink style when shrinking a pressure room for the time of 12 microseconds having passed since the 1st driver voltage impression, i.e., the holding time, at the time of 2 microseconds will be shown, a pressure room will be compressed in the early phase which retreat of a meniscus stopped and was changed to advance by inertial flow, from the nozzle orifice, ink serves as the magnitude with the almost same diameter with a column, i.e., a point, and a center section, and drawing 12 is flying.

[0023] Drawing 13 shows the condition of the ink style when making the time of 14 microseconds having passed since the 1st driver voltage impression, i.e., the holding time, into 4 microseconds, and when a meniscus starts to move forward from retreat and moves forward for a while to a nozzle orifice side, it shows the condition when extruding a nozzle formation plate to a nozzle orifice side. The ink which jumped out of the nozzle orifice like the above-mentioned case also in this case becomes pillar-shaped.

[0024] It shows the condition of the ink style when making the time of 16 microseconds having passed since the 1st driver voltage impression, i.e., the holding time, into 6 microseconds, a meniscus changes drawing 14 to advance from retreat, and when it returns from the location which retreated most to about 1/3, it shows the condition when expanding a piezoelectric transducer. In this case, since a part of tip of the ink which jumped out of the nozzle orifice is narrow and it is spherically collected in process of a flight, a dot ideal for a record form will be formed.

[0025] When a condition when drawing 15 thru/or drawing 18 consider as 18 microseconds (8 microseconds of holding times), 20 microseconds (10 microseconds of holding times), 22 microseconds (12 microseconds of holding times), and 24 microseconds (14 microseconds of holding times) from the 1st driver voltage impression, respectively is shown below and the piezoelectric transducer was expanded at these times, it has checked becoming spherical [the tip of the ink which jumped out of the nozzle orifice].

[0026] The recording head which became the model of this simulation is used for drawing 19 . Impress the 1st driver voltage for 10 microseconds at a fixed rate, i.e., the change rate of extent which a meniscus will become pillar-shaped from a nozzle orifice by inertial flow, and will fly if it is left, and a piezoelectric transducer is shrunk at a fixed rate. The configuration of the ink droplet injected from a nozzle orifice when arbitration carries out time amount maintenance of this contraction condition after that, the driver voltage which subsequently changes at a fixed rate is impressed for 10 microseconds and a piezoelectric transducer is shrunk is photoed with a high speed camera. As opposed to the point of the ink which jumped out of the nozzle if it is what showed the holding time as a parameter and the holding time was one of the things more than 6 microsecond (this drawing III) about this being narrow, and becoming spherical It can check that the holding time of the whole is pillar-shaped in the thing for 4 or less microseconds (these drawings II and I) in the same configuration.

[0027] When the relation of a regurgitation rate is synthesized and indicated to be the discharge quantity from the nozzle orifice of the ink droplet for every holding time mentioned above, as shown in drawing 20 , ink discharge quantity (line shown by the drawing middle point line) Although it increases a little in proportion to the holding time and an ink regurgitation rate falls rapidly with the holding time till the time of returning from the time of 6 microseconds of holding times, i.e., a meniscus, retreating most to about 1/3 location Even if the holding time becomes long from this, the constant value of about 12.5m/second is maintained. By the way, the ink which carries out the regurgitation from a nozzle becoming pillar-shaped

when an ink regurgitation rate is quick, and becoming spherical, when late is known. And since it was also known that the dot formed in a record form will become almost circular when the tip of the breathed-out ink was spherical, when 6 microseconds or more, i.e., a meniscus, retreat the holding time most with the above-mentioned model from these things, after returning to 1/3 from from, when the pressure room was shrunk, it became clear that an ideal dot, i.e., a circular dot, could be printed.

[0028] The place which this changed parameters, such as size of a nozzle orifice, viscosity of ink, and gap length of a nozzle plate and a diaphragm, and various behavior of a meniscus was changed, and was checked. Although change arose in time amount until a meniscus returns to 1/3 from the location which retreated most, when shrinking the pressure room after the time of returning to 1/3, it was checked that the point of the ink which jumps out of a nozzle orifice becomes there is no **** in change of the above-mentioned parameter, and spherical. If a pressure room is shrunk after the time of making even extent to which the inertial flow produced from these things when retreating a diaphragm makes ink jump out of a nozzle orifice extend a pressure room at high speed, and the location of a meniscus returning 1/3 or more from the location which retreated most, it means that ink can be made as it is spherical, and it can be made to fly that there is no **** in the location of a meniscus.

[0029] If this is applied to the drive frequency of an ink jet recording head and is seen, as the continuous line showed drawing 21 and drawing 22, ink discharge quantity and an ink regurgitation rate will become fixed from 1kHz of drive frequencies to about 10kHz. This shows it is not only shown that a high print speed can also maintain a high quality of printed character, but formation of a continuation dot, and that it can maintain a fixed quality of printed character to all printing gestalten when forming a dot every other dot, and forming a dot every 2 dots. On the other hand, by the conventional drive method (line shown with the dotted line in drawing 21 and drawing 22), ink discharge quantity decreases bordering on nearly 3kHz of drive frequencies, and an ink regurgitation rate rises rapidly, and it is shown that a quality of printed character will be influenced by drive frequency as a result.

[0030] By the way, the piezoelectric transducer which uses longitudinal-oscillation mode cannot be easily influenced by the thing in flexurally oscillating mode of other configuration members, such as a diaphragm and ink, and vibrating with piezoelectric transducer independent resonance frequency mostly is checked.

[0031] On the other hand, the resonance frequency of a pressure room is decided by the inertances 45 and 53 and the rigid compliance 55 in above-mentioned drawing 10. The resonance frequency f_c of a pressure room is [0032], when an inertance 45 is set to M_n and it sets M_s and rigid compliance to C_c for an inertance 53.

[Equation 1]

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{M_n + M_s}{C_c \times M_n \times M_s}}$$

[0033] It is come out and expressed. In addition, when free vibration of the pressure room is carried out, vibrating with the resonance frequency f_c is checked. The process to which a pressure room is made to expand, and when compressing, residual vibration of the pressure room after pressure room extension and ink droplet formation can be made small as much as possible by making into 0.9 or more times of the proper oscillation period of a pressure room the standup of the voltage waveform impressed in order to contract, 0.9 or more times, i.e., the piezoelectric transducer, of the proper oscillation period of a pressure room, and to expand the displacement rate of a piezoelectric transducer, and falling time amount. Moreover, in order to control the residual vibration of a piezoelectric transducer, the displacement rate of a piezoelectric transducer can be attained by making it in agreement with the proper oscillation period of a piezoelectric transducer.

[0034] That is, the piezoelectric transducer after displacement of a piezoelectric transducer itself and the residual vibration of the diaphragm combined with this can be suppressed to about 10% of the amplitude at the time of a drive by setting the time constant of a discharge wave at the time of electrical-potential-difference disconnection as 90 thru/or 120% of range of the proper oscillation period of the vibrator itself, as shown in drawing 23.

[0035] As explained above, although the residual vibration of a pressure room and the residual vibration of a piezoelectric transducer can be suppressed by setting the standup and/or falling time amount of the piezo-electricity impressed to the displacement rate of a piezoelectric transducer, i.e., a piezoelectric transducer, as arbitration, take [according to conditions with dimensions such as a piezoelectric transducer and other pressure room formation members, and the quality of the material / the time setting which suits each] are clear. That is, it is desirable to set up as follows with the size relation between the proper oscillation period T_a of a piezoelectric transducer and the proper oscillation period T_c of a pressure room ($= 1/f_c$).

1) the case of $T_a < T_c$ — the case of τ_1 and $\tau_2 \geq 0.9 \times T_c$ $T_a \geq T_c$ — $0.90 \times T_a \leq \tau_1$ and $\tau_2 \leq 1.2 \times T_a$ — dot formation can be attained immediately, without establishing the attenuation latency time of the residual vibration after the ink injection which affects especially a repeat frequency greatly by setting up the build up time and/or falling time amount of the electrical potential difference impressed to a piezoelectric transducer in this way, and the drive repeat frequency of a recording head can be raised further.

[0036] In addition, although the case where it applied to the ink jet recording head which formed ink passage only in one side of a pressure room in the above-mentioned example was explained, even if it applies to the

ink jet recording head which formed the ink feeder current way in the both sides of a pressure room, it is clear to do the same operation so.

[0037] Moreover, even if it applies to the so-called ink jet recording head of the edge EJIEKUTO format of making an ink droplet injecting in the direction parallel not only when it applying to the so-called ink jet recording head of the face EJIEKUTO format that the diaphragm is countered and formed in the nozzle orifice, but to a diaphragm, it is clear to do the same operation so.

[0038]

[Effect of the Invention] The 1st process which retreats said diaphragm from a nozzle orifice to a position at the rate of extent in which impresses driver voltage to a piezoelectric transducer and the meniscus of a nozzle orifice carries out the regurgitation from a nozzle orifice in this invention as explained above, Since it had the 2nd process which holds a diaphragm in said location, and the 3rd process to which a meniscus advances a diaphragm to a nozzle orifice side when the amount of retreat returns 1/3 or more While using positively the ink style near [which is produced at the time of contraction of a piezoelectric transducer] the nozzle orifice Pressure room compression is attained in the field for which the regurgitation rate of an ink droplet does not depend on the location of a meniscus, by this, the size and the flight rate of an ink droplet can be maintained almost uniformly over the range where a drive repeat frequency is large, and the recording device in which a high-speed drive is possible can be realized. Moreover, since the standup of the charge at the time of ink droplet injection and/or discharge and falling time amount were suitably set up with the period of vibration of a pressure room and a piezoelectric transducer, the residual vibration amplitude of the vibration system containing the piezoelectric transducer after ink droplet injection can be made small, and a drive repeat frequency can be raised.

[Translation done.]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the cross-section perspective view showing one example of the ink jet recording head to which this invention is applied.

[Drawing 2] It is the sectional view of the ink jet recording head shown in drawing 1.

[Drawing 3] They are the ink passage of the ink jet recording head shown in drawing 1, and drawing showing the array of a nozzle orifice.

[Drawing 4] It is drawing showing the movement condition of the piezoelectric transducer in the ink jet recording head shown in drawing 1.

[Drawing 5] This drawing (I) thru/or (IV) are the explanatory views showing the outline of actuation of an ink jet recording head same as the above, respectively.

[Drawing 6] It is the circuit diagram showing one example of the circuit which drives an ink jet recording head same as the above.

[Drawing 7] This drawing (I) thru/or (IV) are the terminal voltage of the driving signal and piezoelectric transducer which are impressed to a drive circuit same as the above, respectively, the charging current, and the explanatory view showing migration of a meniscus.

[Drawing 8] It is the explanatory view showing the relation of the contraction process of a piezoelectric transducer, a maintenance process, and an expanding process.

[Drawing 9] It is the explanatory view showing the relation of the contraction process at the time of using the piezoelectric transducer of the type reduced by discharge, a maintenance process, and an expanding process.

[Drawing 10] It is drawing showing an example of the model used for carrying out simulation of the behavior of the ink in the pressure interior of a room by the drive approach of this invention.

[Drawing 11] It is drawing showing the behavior of the meniscus for every time amount at the time of leaving it in the condition of having made the piezoelectric transducer reducing.

[Drawing 12] It is drawing showing the behavior of the meniscus for every time amount at the time of leaving it for 2 microseconds in the condition of having made the piezoelectric transducer reducing, and expanding a piezoelectric transducer after that.

[Drawing 13] It is drawing showing the behavior of the meniscus for every time amount at the time of leaving it for 4 microseconds in the condition of having made the piezoelectric transducer reducing, and expanding a piezoelectric transducer after that.

[Drawing 14] It is drawing showing the behavior of the meniscus for every time amount at the time of leaving it for 6 microseconds in the condition of having made the piezoelectric transducer reducing, and expanding a piezoelectric transducer after that.

[Drawing 15] It is drawing showing the behavior of the meniscus for every time amount at the time of leaving it for 8 microseconds in the condition of having made the piezoelectric transducer reducing, and expanding a piezoelectric transducer after that.

[Drawing 16] It is drawing showing the behavior of the meniscus for every time amount at the time of leaving it for 10 microseconds in the condition of having made the piezoelectric transducer reducing, and expanding a piezoelectric transducer after that.

[Drawing 17] It is drawing showing the behavior of the meniscus for every time amount at the time of leaving it for 12 microseconds in the condition of having made the piezoelectric transducer reducing, and expanding a piezoelectric transducer after that.

[Drawing 18] It is drawing showing the behavior of the meniscus for every time amount at the time of leaving it for 14 microseconds in the condition of having made the piezoelectric transducer reducing, and expanding a piezoelectric transducer after that.

[Drawing 19] This drawing (I) thru/or (X) are drawings showing the configuration of the ink droplet for every above-mentioned holding time, respectively.

[Drawing 20] They are the holding time, an ink regurgitation rate, and the diagram showing the relation of ink discharge quantity.

[Drawing 21] It is the diagram showing the relation between drive frequency and ink discharge quantity.

[Drawing 22] It is the diagram showing the relation between drive frequency and an ink regurgitation rate.

[Drawing 23] It is the diagram showing the relation between the time constant of the driver voltage at the time of piezoelectric transducer expanding, and the damping-oscillation amplitude.

[Drawing 24] It is drawing showing an example of the conventional drive circuit of the ink jet recording head which used longitudinal-oscillation mode.

[Description of Notations]

1 Piezoelectric Transducer
2 Pressure Transfer Member
3 Nozzle Plate
4 Nozzle Orifice
5 Ink Feeder Current Way
10 Pressure Room
15 Meniscus

[Translation done.]

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-318731

(43)公開日 平成5年(1993)12月3日

(51)Int.Cl.⁵

B 4 1 J 2/045

2/055

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

9012-2C

B 4 1 J 3/ 04

1 0 3 A

審査請求 未請求 請求項の数4(全 19 頁)

(21)出願番号 特願平4-316632

(22)出願日 平成4年(1992)10月30日

(31)優先権主張番号 特願平3-291669

(32)優先日 平3(1991)11月7日

(33)優先権主張国 日本(JP)

(71)出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(72)発明者 細野 聡

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(72)発明者 北原 強

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(72)発明者 阿部 知明

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(74)代理人 弁理士 木村 勝彦 (外1名)

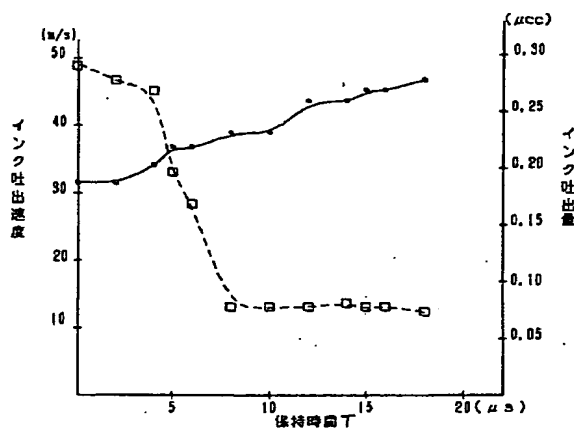
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 インクジェット式記録ヘッドの駆動方法、及びその装置

(57)【要約】

【目的】 縦振動モードの振動子を用いて圧力室を拡張させてからインク滴を発生させるインクジェット記録ヘッドを効率良くしかも安定にインク滴を発生させること。

【構成】 縦振動モードの圧電振動子に駆動電圧を印加してノズル開口のメニスカスがノズル開口から吐出する程度の速度で振動板をノズル開口から所定の位置まで後退させる第1の工程と、振動板を前記所定位置に停止させる第2の工程と、振動板の停止状態において慣性流によりメニスカスが後退量の1/3以上復帰した時点で振動板をノズル開口側に前進させる第3の工程とによりドットを形成する。インクの慣性流がノズル開口側に切り換わって安定な流れとなった時点で圧力室が収縮してインクに圧力が印加されるため、メニスカスの位置に関りなく一定の吐出速度のインク滴が発生する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ノズル開口と連通し、振動板を配置して圧力室を形成するとともに、前端が前記振動板に固定された縦振動モードの圧電振動子を固定してなるインクジェット式記録ヘッドに、前記圧電振動子に駆動電圧を印加してノズル開口のメニスカスが前記ノズル開口から吐出する程度の速度で前記振動板をノズル開口から所定の位置まで後退させる第1の工程と、前記振動板を前記位置に保持する第2の工程と、前記メニスカスが後退量の1/3以上復帰した時点で前記振動板をノズル開口側に

10 前進させる第3の工程とからなるインクジェット記録ヘッドの駆動方法。
 【請求項2】 ノズル開口と連通し、振動板を配置して圧力室を形成するとともに、前端が前記振動板に固定された縦振動モードの圧電振動子を固定してなるインクジェット式記録ヘッドを駆動する装置において、前記ノズル開口に形成されているメニスカスが前記ノズル開口から吐出する程度の速度で前記圧電振動子を収縮させる第1の電圧と、前記圧電振動子を収縮状態に保持する第2の電圧と、圧電振動子を伸長させる第3の電圧を発生す

20 $T \geq T_{im}$

(ただし、 T は、第2の電圧の保持時間を、また T_{im} は、第1の駆動電圧が定常定常状態に到達してからメニスカスが最後退位置から1/3まで復帰するまでの時間を示す)

維持するインクジェット式記録ヘッドの駆動装置。

【請求項3】 第1及び/または第3の駆動電圧の時定数を、前記圧力室の固有振動周期の0.9倍以上とした請求項2のインクジェット式記録ヘッド駆動装置。

【請求項4】 第3の駆動電圧の時定数を、前記圧電振動子の固有振動周期の0.9乃至1.2倍とした請求項2のインクジェット式記録ヘッド駆動装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、圧力室を形成している弾性板を棒状の圧電振動子により変位させ、この変位により圧力室を圧縮してノズル開口からインク滴を噴射させるインクジェット記録ヘッドの駆動技術に関する。

【0002】

【従来の技術】記録装置に用いられるインクジェット記録ヘッドの一つとして特公平2-24218号公報に示されるように、圧力室を構成する弾性板に円板状の圧電振動板を固定したものが従来から利用されている。このような形式のインクジェット記録ヘッドは、圧電振動子の変位が小さいため、実効面積を大きく取らざるを得ず、したがって比較的大きな面積を確保することができる、ノズル開口から離れた箇所に圧力室を配置し、ノズル開口との間を流路で接続するという構造が採用されている。この結果、記録ヘッドの全体の大型化を招くばかりでな

く、各インク流路の流体抵抗を均一にするために複雑な調整作業が必要になるという問題がある。

【0003】このような問題を解消するべく、例えば米国特許第4697193号明細書に示されたように、圧電振動子を棒状に形成し、これを圧力室の弾性板に当接させて縦振動させてインク滴を発生させるインクジェット記録ヘッドも提案されている。この記録ヘッドによれば、ノズル開口に対向させて圧電振動子を配置することができ、ため、圧力室とノズル開口を接続する流路が不要となるばかりでなく、圧電振動子を積層構造とすることができるため、駆動電圧を引き下げることができ、さらには圧電振動子自体の固有振動数が比較的大きいため、高速駆動が可能となって印刷速度の向上を図ることができるなどの特徴を備えている。

【0004】このような縦振動を利用したインクジェット記録ヘッドは、ドット形成直前に圧電振動子に駆動電圧を印加して圧電振動子を収縮させ、次いで駆動電圧を放電させて圧電振動子の伸長によりインク滴を発生させる、いわゆる引き打ち方式が採用されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】このような引き打ち方式を用いると、圧電振動子や振動板に予め蓄積された弾性エネルギーの利用が可能となるばかりでなく、圧力室へのインクの確実な引き込みを図ることができるという利点がある反面、印字速度を高めるべく圧電振動子の作動繰り返し周波数を高めると、インク滴の形成時のメニスカスの位置にばらつきが生じてインク滴のサイズや速度が変動して印刷品質が変動するという不都合がある。

【0006】このような問題を回避するため、圧電振動子の縮小速度を可及的に低く設定してメニスカスの移動を少なくするとともに、メニスカスが元の位置に復帰して静止するまで一定時間、圧電振動子を収縮状態に保持し、それから第2の駆動電圧を印加して圧電振動子を伸長させるという駆動方法が用いられている。このような駆動方法によれば印字品質の安定を図ることができる反面、圧電振動子自体の高速応答性を十分に生かすことができないという新たな問題が生じる。本発明はこのような問題に鑑みてなされたものであって、その目的とするところは高い印字品質を維持しながら高速駆動すること

40 ができる縦振動モードを利用したインクジェット記録ヘッドの駆動方法を提案することである。また本発明の第2の目的は、上記方法を実現するための装置を提供することである。

【0007】

【課題を解決するための手段】このような問題を解消するために本発明においては、ノズル開口が穿設されたノズルプレートに対向させて振動板を配置して圧力室を形成するとともに、先端を前記ノズル開口に対向させて前記振動板に固定された縦振動モードの圧電振動子を固定してなるインクジェット式記録ヘッドに、前記圧電振動

子に駆動電圧を印加してノズル開口のメニスカスが前記ノズル開口から吐出する程度の速度で前記振動板をノズル開口から所定の位置まで後退させる第1の工程と、前記振動板を前記位置に保持する第2の工程と、前記メニスカスが後退量の1/3以上復帰した時点で前記振動板をノズル開口側に前進させる第3の工程とを備えるようにした。

【0008】

【作用】圧電振動子の収縮に伴ってメニスカスがノズル開口から後退するが、圧電振動子の収縮が停止する前後において、次の瞬間にノズル開口に向かう流れとなる。インクの慣性流の方向が切り換わり、元の位置から1/3程度まで復帰した時点で、圧電振動子を伸長させると、慣性流に圧電振動子の伸長による圧力がノズル開口近傍のインクに加わりインクを効率良くノズル開口から飛翔させることになる。そしてメニスカスが元の位置から1/3以上復帰すると、メニスカスの位置に関りなく一定の速度でインク滴が飛翔するので、印刷されるドットの形状、サイズが安定する。

【0009】

【実施例】そこで以下に本発明の詳細を図示した実施例に基づいて説明する。図1、2は本発明の駆動装置が適用される縦振動モードを利用するインクジェット記録ヘッドの一実施例を示すものであって、図中符号1は、縦振動モードで振動する圧電振動子で、駆動電極と圧電振動材料をサンドイッチ状に積層して構成され、圧電振動材料を挟む駆動電極を並列に接続して構成されている。このような構造を採ることにより、各圧電振動層を同一の電圧での駆動が可能となつて、30ボルト程度の駆動電圧でインク滴を形成させることができる。

【0010】この圧電振動子1は、一端を比較的弾性係数の大きな絶縁性接着剤7によりベース9に固定され、また他端には先端に圧力伝達部材2を介して圧力室10を構成する高弾性板からなる振動板8が固定されている。そして振動板8と一定のギャップgを確保するようにしてノズル開口4を備えたノズルプレート3がスペーサ11を介してベース9に固定されている。これら振動板8とノズルプレート3とにより形成された空間が圧力室10となり、ベース9に形成された凹部からなるインク供給流路5を介して図示しないインクタンクからインクの供給を受けるように構成されている。そしてこれらノズル開口4、4、4は、図3に示したように副走査方向に千鳥状となるように複数列配置して、可及的に高いドット密度での印刷が可能に構成されている。

【0011】このような構造を持ったインクジェット記録ヘッドは、圧電振動子1に駆動電圧が印加されていない状態では、メニスカス15がほぼノズル開口4の表面に位置している(図5 I)。この状態で圧電振動子1に対して、これを縮小させる方向(図4 符号a)に第1の駆動電圧を印加すると、圧電振動子1の先端に固定

されている振動板8もノズルプレート3に対して弾性変形してノズル開口4から後退する。この結果、圧力室10が拡張してこのインクが図中符号A方向に移動するからメニスカス15も圧電振動子1側に後退する。同時にこのインクの流れに誘われてインク供給流路5から符号Bで示すようにインクが圧力室10に流れ込む(図5 II)。

【0012】圧電振動子1を縮小させた状態を維持すると、圧力室10のインクは慣性により今度はノズル開口側に向かう流れC(図5 III)を生じ、これによりメニスカス15もノズル開口4に向かって前進を開始する。このメニスカスが前進している過程で圧電振動子1にこれを伸長させる方向(図4 符号b)の駆動電圧を印加すると、振動板8が圧電振動子1に押されてノズル開口側に弾性変形して圧力室10を縮小させる。これにより発生した圧力Dは、前の工程で発生している慣性流C(図5 III)に足し合わさって圧力室10のインクをノズル開口4からインク滴16として外部に飛び出させることになる。圧電振動子1の伸長により生じた圧力は、圧力室10からインク供給流路5に向かう流れEを発生させることになるが、前の工程により生じた慣性流Bにより或程度阻止されるため、圧力室10の圧力抜けが或程度減少することになる。(図5 IV)。

【0013】図6は、上述のインクジェット記録ヘッドを駆動する装置の一実施例を示すものであって、図中符号20は、第1のスイッチング回路で、3つのトランジスタ21、22、23からなり、入力端子24にHレベルの電圧が印加されたときにオンとなるように構成されている。25は、第2のスイッチング回路で、トランジスタ26、27からなり、インバータ28を介して入力端子24に接続されていて、入力端子24にLレベルの電圧が印加されたときにオンとなるように構成されている。29は、時定数回路を構成するコンデンサで、第1のスイッチング回路20がオンとなったときには、抵抗30を介して電源電圧V_Hにより充電を受け、また第2のスイッチング回路25がオンとなったときには抵抗31を介して放電するものである。32は、電流バッファで、トランジスタ33、34からなり、コンデンサ29の端子電圧に比例した電圧を圧電振動子1に供給するのである。このような回路構成を採ることにより図7(1)に示すような入力信号が入力端子24に印加されると、信号がLレベルになった時点でトランジスタ22がオフとなって駆動電圧V_Pが電圧V_Hまで立ち上がる。そしてトランジスタ22とコンデンサ29と、これに接続されている電流バッファ32がミラー積分回路を構成しているため、圧電振動子1に印加される駆動電圧V_Pの波形は、同図(1)に示すように一定の勾配をもって直線的に立ち上がる。駆動電圧V_Pが電源電圧V_Hと等しくなった時点で、電圧の上昇が停止し、その後、所定時間の間駆動電圧V_Pは電源電圧V_Hに保持される。そし

て入力信号がHレベルに切り換わった時点で、コンデンサ29が抵抗31を介して放電し、圧電振動子1の駆動電圧V_pの波形は立ち上がり時とほぼ対称をなすように立ち下がる。

【0014】ところで駆動電圧V_pの立ち上がり時間 τ_1 及び立ち下がり時間 τ_2 は、回路を構成しているコンデンサ29と抵抗30、31により決定される。コンデンサ29の容量をC、抵抗30の抵抗値をR₁、抵抗32の抵抗値をR₂、トランジスタ20、26のベース-エミッタ間電圧を各々V_{BE1}、V_{BE2}とすると、時間 τ_1 、 τ_2 は、それぞれ

$$\tau_1 = C \times R_1 \times V_H / V_{BE1}$$

$$\tau_2 = C \times R_2 \times V_H / V_{BE2}$$

となる。この結果、圧電振動子1に流れる電流I_pは

$$I_p = C_p \times V_H / \tau_1$$

*

$$I_p'(t) = V_H / R_1' \times \exp\{-t / (C_p \times R_1')\}$$

$$V_p'(t) = V_H \times [1 - \exp\{-t / (C_p \times R_1')\}]$$

となる。このような回路では駆動電圧V_p'が電源電圧V_Hに達するまでの時間は非常に長くなるが、実質的に圧電振動子1が変形するのに問題ない電圧を、仮に電源電圧V_Hの0.9倍に達する時間、すなわちV_p'(t)が0.9×V_Hに達する時間t₀は

$$t_0 = 2.3 \times C_p \times R_1'$$

となる。ここで前述した立ち上がり時間 τ_1 と等しい時間でt₀が立ち上がるように充電抵抗値R₁'を設定すると、I_p'の最大値、すなわちI_p'(0)は、

$$I_p'(0) = V_H / R_1'$$

$$= V_H \times 2.3 \times C_p / \tau_1 = 2.3 \times I_p$$

となる。これは、定電圧回路が前述した定電流回路に対し、同じ時間で電圧を立ち上げるためには、最大電流が2.3倍流れてしまうことを示している。また立ち下がる時においても全く同様の形態を示す。以上説明したように、本実施例で示した定電流回路を用いることにより、従来の駆動回路に比較して、充電時間、または放電時間を小さくしても回路に流れる最大電流値を減少させることができるため、駆動回路を構成する部品を小さくでき、回路の低コスト化を図ることができる。

【0016】図7は、上述の駆動回路の動作を示す波形図であって、ホスト装置から図7(I)に示したような信号が入力端子に入力すると、信号がHレベルからLレベルに切り換わった時点(T₁)で第1のスイッチング回路20がオンとなって抵抗30を介してコンデンサ29が充電される。この充電電流は時定数 τ_1 でもって変化し、同時にミラー積分機能により圧電振動子1に一定割合で上昇する電圧が印加される。このれにより圧電振動子1は等速度で縮小することになり、振動板8がやはり等速度で後退して圧力室10が拡大し、またメニスカスも時間とともに後退する(同図IV)。

【0017】圧電振動子1の端子電圧V_pが電源電圧V_Hまで上昇した時点(T₂)で、電圧変化が停止し、この

$$* = C_p \times V_{BE1} / (C \times R_1)$$

$$I_p = C_p \times V_H / \tau_2$$

$$= C_p \times V_{BE2} / (C \times R_2)$$

となる。電流I_pの時間変化からも明かなように、この回路は圧電振動子1に一定の電流を流す定電流回路を構成している。

【0015】これに対し、従来圧電振動子の駆動回路として用いられる回路に図24のような定電圧回路がある。この定電圧回路で圧電振動子を駆動する場合、圧電振動子に流れる電流I_p'と圧電振動子に印加される電圧V_p'は、時間とともに非直線的に変化する。すなわち、充電抵抗60と61の合成抵抗値をR₁'、また圧電振動子62の静電容量C_pとすると、立ち上がり時の電流I_p'と電圧V_p'は、

結果圧力室10の拡大も停止する。このような圧力室10が拡大した状態を所定時間(保持時間T)継続して、メニスカスが後述する所定の位置まで復帰した時点(T₃)で入力信号がLレベルからHレベルに切り換わる。この結果、第2のスイッチング回路25がオンとなってコンデンサ29に蓄積されている電荷が、時定数 τ_2 でもって抵抗を介して放電する。これにより圧電振動子1の端子電圧V_pも一定の割合で減少し、これに伴って圧電振動子1が等速度で伸長して、圧力室10を一定の割合で圧縮することになる。

【0018】なお、この実施例においては充電により縮小し、また放電により伸長する圧電振動子に例を採って説明したが、放電により縮小し、また充電により伸長するタイプの圧電振動子を用いる場合には、LレベルからHレベルに切り換わり、次いでHレベルからLレベルに切り換わる駆動信号を用いて図9に示したような0ボルトレベルを対称線とする立ち上がり時定数 τ_1 、保持時間T、及び立ち下がり時定数 τ_2 の駆動電圧を発生させることにより同様の動作をさせ得ることは明らかである。

【0019】ところで、前述したようにインクジェット記録ヘッドに第1の駆動電圧を印加して圧電振動子1を縮小させ、これによりノズル開口に形成されていたメニスカスをノズル開口の表面から後退させ、このメニスカスの後退が反転した時点を見計らって圧電振動子1伸長させる本発明の駆動方法におけるインクの挙動を、シュミレーションによりさらに詳説する。ノズル開口の直径が40 μ m、停止状態におけるノズルプレート3と振動板8とのギャップgが80 μ mとなるように構成された記録ヘッドに、粘度10ミリPa・sのインクを用いた場合のインクの挙動を、図10に示した音響モデルを用いてシュミレーションし、その結果を図11から図18に示す。

【0020】このモデルは、インクジェットヘッドの各

部を集中定数とみなしてモデル化した音響系の集中定数回路である。40はノズル部を表わす集中定数回路であり、メニスカス15の圧力源44とノズル開口のイナータンス45とレジスタンス46とが直列に接続されている。41は、圧電振動子1と振動板8を単振動系とみなした集中定数回路であり、印加電圧による圧力発生源48と剛性コンプライアンス49とレジスタンス50とイナータンス57を直列に接合する。42は圧力室10を表す集中定数回路であり、レジスタンス52とイナータンス53を直列に接続する。43は圧力室10全体の変形を表す集中定数回路であり、剛性コンプライアンス55で表されている。インクジェットヘッド全体の集中定数回路は集中定数回路40、41、42、43を並列に接続した構成である。そして、メニスカス15がノズル開口4を完全に満たしているときのイナータンス45とレジスタンス46は、メニスカス15が引き込まれているときのイナータンス45とレジスタンス46よりも大きい値をとる。この結果、ノズル部の集中定数回路40を構成する圧力44とイナータンス45とレジスタンス46をメニスカス15の引き込み量に応じて変化する非線形素子としてシュミレーションを行うこととなる。このようにしてシュミレーションを行うことにより、圧力発生源48を駆動すると圧力板8が体積速度 U_v でインクが排除され、その結果、非定常に変化する各部のインクの体積速度 U_n 、 U_c 、 U_s を知ることができる。そしてノズル部の体積速度 U_n のシュミレーション結果を自由表面の挙動を取り扱いが可能な汎用差分法モデルの境界条件として与えて、メニスカスの挙動やインク滴の飛翔形態を得ることができる。なお、イナータンス45、53と剛性コンプライアンス55からなる振動系の固有振動数を圧力室の共振周波数と指す。

【0021】図11は、一定の勾配で変化する第1の駆動電圧を10 μ 秒間、圧電振動子に印加し、以後この電圧を保持し続けた時のノズル開口近傍のメニスカスの自由な挙動を示すものであって、駆動電圧印加時点（同図I）から10 μ 秒（VI）までメニスカスの後退が続き、次いでメニスカスがノズル開口側に反転する。そして駆動電圧の印加から22 μ 秒が経過すると（XII）ノズル開口4からインク滴が外側に突出し、最終的には液滴の形成が可能な程度の液柱にまで発展する（XXI）。

【0022】図12乃至図18図は、圧電振動子1を縮小させる工程、及び圧電振動子を伸長させる工程の時定数をそれぞれ10 μ 秒に選択する一方、圧電振動子の収縮工程の終了から圧電振動子を伸長させるまでの時間、つまり上述した保持時間を変えて種々なメニスカスの位置が第2の駆動電圧を印加して圧力室を収縮させた場合のノズル開口近傍のインクの流れを示すものである。図12は、第1の駆動電圧印加から12 μ 秒が経過した時点、つまり保持時間を2 μ 秒の時点で圧力室を収縮させ

た時のインク流の状態を示すものであって、メニスカスの後退が停止して慣性流により前進に転じた初期の段階で圧力室が圧縮されることになり、ノズル開口からはインクが柱状、つまり先端部と中央部との直径がほぼ同じ大きさとなって飛翔している。

【0023】図13は、第1の駆動電圧印加から14 μ 秒が経過した時点、つまり保持時間を4 μ 秒とした時のインク流の状態を示すものであって、メニスカスが後退から前進に転じ、ノズル開口側に少し前進した時点で、ノズル形成板をノズル開口側に押し出した時の状態を示している。この場合も前述の場合と同様にノズル開口から飛び出したインクは、柱状となる。

【0024】図14は第1の駆動電圧印加から16 μ 秒が経過した時点、つまり保持時間を6 μ 秒とした時のインク流の状態を示すものであって、メニスカスが後退から前進に転じ、最も後退した位置から1/3程度まで復帰した時点で、圧電振動子を伸長させた時の状態を示すものである。この場合にはノズル開口から飛び出したインクの先端の一部がくびれて飛行の過程で球状にまとまるため、記録用紙には理想的なドットが形成されることになる。

【0025】以下図15乃至図18は、それぞれ第1の駆動電圧印加から18 μ 秒（保持時間8 μ 秒）、20 μ 秒（保持時間10 μ 秒）、22 μ 秒（保持時間12 μ 秒）、24 μ 秒（保持時間14 μ 秒）とした場合の状態を示すもので、これらの時点で圧電振動子を伸長させると、ノズル開口から飛び出したインクの先端は、球状となることが確認できた。

【0026】図19は、このシュミレーションのモデルになった記録ヘッドを用いて、第1の駆動電圧を一定の割合、つまり放置すれば慣性流によりメニスカスがノズル開口から柱状となって飛翔する程度の変化速度で10 μ 秒印加して圧電振動子を一定の割合で収縮させ、以後この収縮状態を任意の時間保持し、次いで一定の割合で変化する駆動電圧を10 μ 秒印加して圧電振動子を収縮させたときにノズル開口から噴射されるインク滴の形状を高速度カメラにより撮影し、これを保持時間をパラメータとして示したもので、保持時間が6 μ 秒（同図II）以上のものにあつてはノズルから飛び出したインクの先端部がくびれて球状となるのに対して、保持時間が4 μ 秒以下のもの（同図II、I）では全体が同一形状で、柱状となっていることが確認できる。

【0027】上述した保持時間毎のインク滴のノズル開口からの吐出量と、吐出速度の関係を総合して示すと、図20に示したようにインク吐出量（図中点線により示す線）は、保持時間に比例して若干多くなり、またインク吐出速度は、保持時間6 μ 秒、つまりメニスカスが最も後退した時点から1/3程度の位置まで復帰する時点までは保持時間とともに急激に低下するが、これより保持時間が長くなってもほぼ12.5メートル/秒程度の

一定値を維持している。ところで、インク吐出速度が速い場合にはノズルから吐出するインクは柱状となり、また遅い場合には球状になることが知られている。そして吐出したインクの先端が球状である場合には、記録用紙に形成されるドットがほぼ円形となることも知られているから、これらのことから上記モデルでは保持時間を6μ秒以上、つまりメニスカスが最も後退した時から1/3まで復帰した以後に圧力室を収縮させると理想的なドット、つまり円形のドットが印刷できることが判明した。

【0028】このことは、ノズル開口のサイズやインクの粘度、ノズルプレートと振動板の間隙長等のパラメータを変えてメニスカスの挙動をいろいろ変化させて確認したところ、メニスカスが最も後退した位置から1/3に復帰するまでの時間には変化が生じるものの、1/3まで復帰した時点以降に圧力室を収縮させれば、上記パラメータの変化に関りなく、ノズル開口から飛び出すインクの先端部が球状となることが確認された。これらのことから、振動板を後退させた時に生じる慣性流がノズル開口からインクを飛び出させる程度にまで高速度で圧力室を拡張させ、かつメニスカスの位置がその最も後退した位置から1/3以上復帰した時点以降に圧力室を収縮させると、メニスカスの位置に関りなくインクを球状となして飛翔させることができることを意味する。

【0029】このことをインクジェット記録ヘッドの駆*

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{M_n + M_s}{C_c \times M_n \times M_s}}$$

【0033】で表わされる。なお、圧力室を自由振動させた場合にはその共振周波数 f_c で振動することが確認されている。圧力室を拡大させる工程、及び圧縮する場合に、圧電振動子の変位速度を圧力室の固有振動周期の0.9倍以上、つまり圧電振動子を収縮、伸長させるために印加する電圧波形の立ち上がり、立ち下がり時間を圧力室の固有振動周期の0.9倍以上にする事により、圧力室拡張後、及びインク滴形成後における圧力室の残留振動を可及的に小さくすることができる。また、圧電振動子の残留振動を抑制するためには、圧電振動子の変位速度を圧電振動子の固有振動周期に一致させることで達成することができる。

【0034】すなわち、図23に示したように電圧開放時における放電波形の時定数を振動子自体の固有振動周期の90乃至120パーセントの範囲に設定することにより、圧電振動子の変位後における圧電振動子自体、およびこれに結合されている振動板の残留振動を、駆動時の振幅の10%程度に抑えることができる。

【0035】以上説明したように圧力室の残留振動、および圧電振動子の残留振動は、圧電振動子の変位速度、すなわち圧電振動子に印加する圧電の立ち上がり、およ

* 動周波数に当てはめて見ると、図21、図22において実線により示したように駆動周波数1KHzから10KHz程度までインク吐出量及びインク吐出速度が一定となる。このことは、高い印刷速度でも高い印字品質を維持できることを示すばかりでなく、連続ドットの形成、1ドットおきにドットを形成する場合、2ドットおきにドットを形成する場合などあらゆる印刷形態に対しても一定の印字品質を維持できることを示している。これに対して従来の駆動方式(図21、図22において点線により示した線)では駆動周波数3KHz近辺を境にしてインク吐出量が減少し、またインク吐出速度が急激に上昇してしまい、結果として印字品質が駆動周波数に左右されてしまうことを示している。

【0030】ところで、縦振動モードを使用する圧電振動子は、たわみ振動モードのものよりも振動板やインク等の他の構成部材の影響を受け難く、ほぼ圧電振動子単独の共振周波数で振動することが確認されている。

【0031】一方、圧力室の共振周波数は、前述の図10中のイナータンス45、53と剛性コンプライアンス55によって決まる。圧力室の共振周波数 f_c は、イナータンス45を M_n 、イナータンス53を M_s 、剛性コンプライアンスを C_c とすると、

【0032】

【数1】

び/または立ち下がり時間を任意に設定することにより抑えることができるが、圧電振動子やその他の圧力室形成部材等の寸法、材質との条件により、各々に適合する時間設定をとることは明らかである。すなわち、圧電振動子の固有振動周期 T_a と圧力室の固有振動周期 T_c ($=1/f_c$)との大小関係により以下のように設定することが望ましい。

1) $T_a < T_c$ の場合

$\tau_1, \tau_2 \geq 0.9 \times T_c$

2) $T_a \geq T_c$ の場合

$0.90 \times T_a \leq \tau_1, \tau_2 \leq 1.2 \times T_a$

このように圧電振動子に印加する電圧の立ち上がり時間、および/または立ち下がり時間を設定する事により特に繰り返し周波数に大きく影響を与えるインク噴射後の残留振動の減衰待ち時間を設けることなく直ちにドット形成が可能となり、記録ヘッドの駆動繰り返し周波数をよりいっそう向上させることができる。

【0036】なお、上述の実施例においては圧力室の片側のみインク流路を形成したインクジェット記録ヘッドに適用した場合について説明したが、圧力室の両側にインク供給流路を形成したインクジェット記録ヘッドに

適用しても同様の作用を奏することは明らかである。

【0037】また、振動板がノズル開口に対向して形成されている、いわゆるフェイスエジェクト形式のインクジェット記録ヘッドに適用した場合に限らず、例えば振動板と平行な方向にインク滴を噴射させるいわゆるエッジエジェクト形式のインクジェット記録ヘッドに適用しても同様の作用を奏することは明らかである。

【0038】

【発明の効果】以上説明したように本発明においては、圧電振動子に駆動電圧を印加してノズル開口のメニスカスがノズル開口から吐出する程度の速度で前記振動板をノズル開口から所定の位置まで後退させる第1の工程と、振動板を前記位置に保持する第2の工程と、メニスカスが後退量の1/3以上復帰した時点で振動板をノズル開口側に前進させる第3の工程を備えるようにしたので、圧電振動子の収縮時に生じるノズル開口近傍のインク流を積極的に利用するとともに、メニスカスの位置にインク滴の吐出速度が依存しない領域で圧力室圧縮が可能となり、これによって駆動繰り返し周波数の広い範囲にわたってインク滴のサイズや飛翔速度をほぼ一定に維持することができて、高速駆動可能な記録装置が実現できる。また、インク滴噴射時の充電、及び／または放電の立ち上がり、立ち下がり時間を圧力室及び圧電振動子の振動周期によって好適に設定するようにしたので、インク滴噴射後における圧電振動子を含む振動系の残留振動振幅を小さくできて、駆動繰り返し周波数を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明が適用されるインクジェット記録ヘッドの一実施例を示す断面斜視図である。

【図2】図1に示したインクジェット記録ヘッドの断面図である。

【図3】図1に示したインクジェット記録ヘッドのインク流路、及びノズル開口の配列を示す図である。

【図4】図1に示したインクジェット記録ヘッドにおける圧電振動子の運動状態を示す図である。

【図5】同図（I）乃至（IV）は、それぞれ同上インクジェット記録ヘッドの動作の概略を示す説明図である。

【図6】同上インクジェット記録ヘッドを駆動する回路の一実施例を示す回路図である。

【図7】同図（I）乃至（IV）は、それぞれ同上駆動回路に印加される駆動信号、圧電振動子の端子電圧、充電電流、及びメニスカスの移動を示す説明図である。

【図8】圧電振動子の縮小工程、保持工程、及び伸長工程の関係を示す説明図である。

【図9】放電により縮小するタイプの圧電振動子を用いた場合の縮小工程、保持工程、及び伸長工程の関係を示

す説明図である。

【図10】本発明の駆動方法による圧力室内でのインクの挙動をシミュレーションするのに使用したモデルの一例を示す図である。

【図11】圧電振動子を縮小させた状態で放置した場合における時間毎のメニスカスの挙動を示す図である。

【図12】圧電振動子を縮小させた状態で2μ秒間放置し、その後圧電振動子を伸長させた場合における時間毎のメニスカスの挙動を示す図である。

【図13】圧電振動子を縮小させた状態で4μ秒間放置し、その後圧電振動子を伸長させた場合における時間毎のメニスカスの挙動を示す図である。

【図14】圧電振動子を縮小させた状態で6μ秒間放置し、その後圧電振動子を伸長させた場合における時間毎のメニスカスの挙動を示す図である。

【図15】圧電振動子を縮小させた状態で8μ秒間放置し、その後圧電振動子を伸長させた場合における時間毎のメニスカスの挙動を示す図である。

【図16】圧電振動子を縮小させた状態で10μ秒間放置し、その後圧電振動子を伸長させた場合における時間毎のメニスカスの挙動を示す図である。

【図17】圧電振動子を縮小させた状態で12μ秒間放置し、その後圧電振動子を伸長させた場合における時間毎のメニスカスの挙動を示す図である。

【図18】圧電振動子を縮小させた状態で14μ秒間放置し、その後圧電振動子を伸長させた場合における時間毎のメニスカスの挙動を示す図である。

【図19】同図（I）乃至（X）は、それぞれ上記各保持時間ごとのインク滴の形状を示す図である。

【図20】保持時間とインク吐出速度、及びインク吐出量の関係を示す線図である。

【図21】駆動周波数とインク吐出量の関係を示す線図である。

【図22】駆動周波数とインク吐出速度の関係を示す線図である。

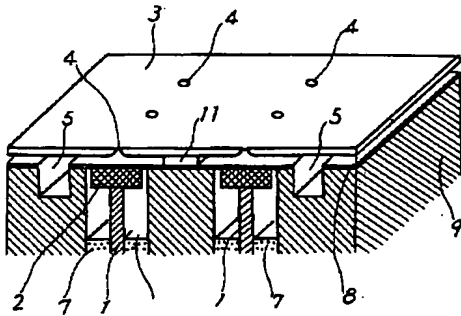
【図23】圧電振動子伸長時の駆動電圧の時定数と減衰振動振幅との関係を示す線図である。

【図24】縦振動モードを使用したインクジェット記録ヘッドの従来の駆動回路の一例を示す図である。

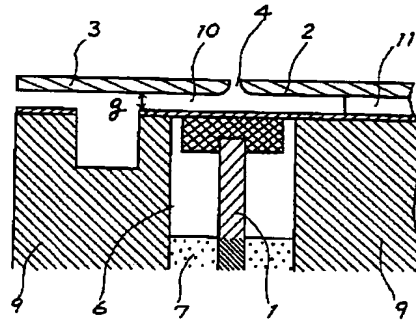
【符号の説明】

- 1 圧電振動子
- 2 圧力伝達部材
- 3 ノズルプレート
- 4 ノズル開口
- 5 インク供給流路
- 10 圧力室
- 15 メニスカス

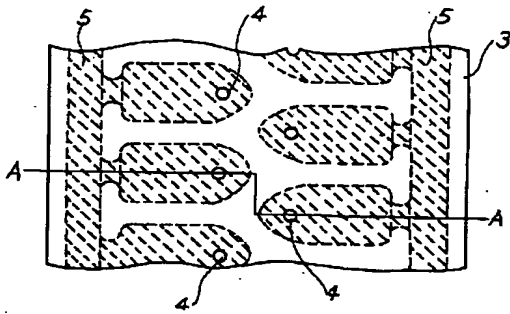
【図1】



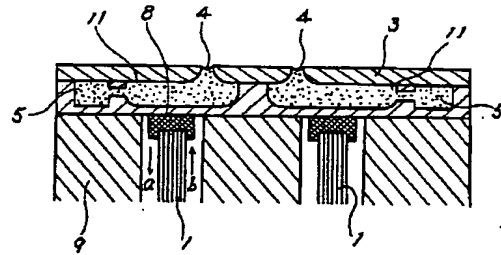
【図2】



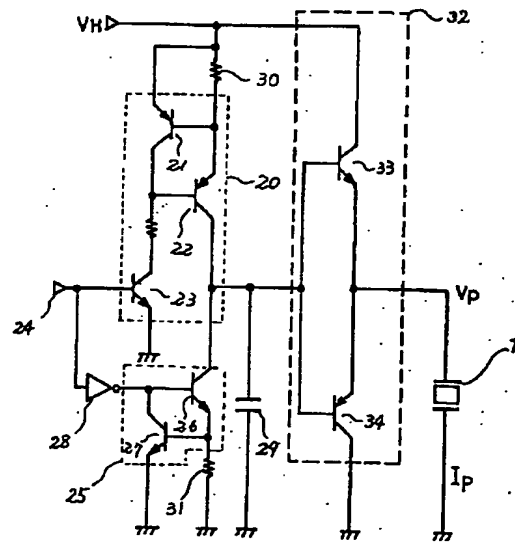
【図3】



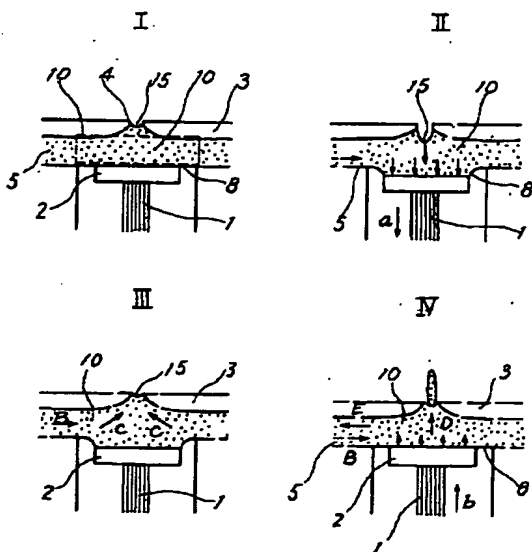
【図4】



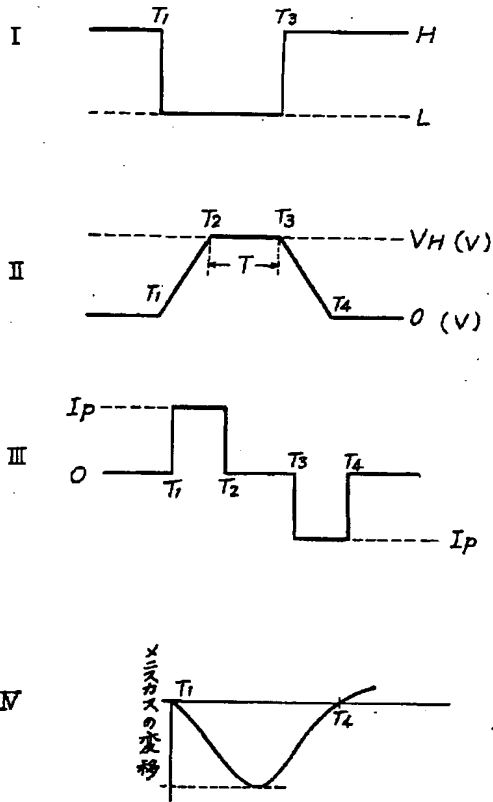
【図6】



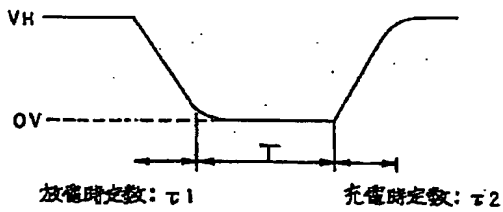
【図5】



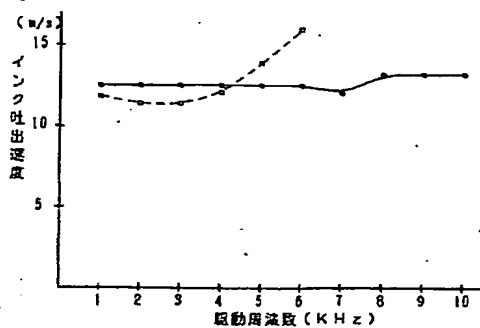
【図7】



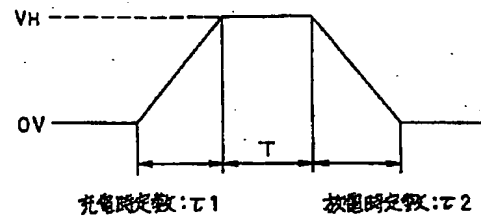
【図9】



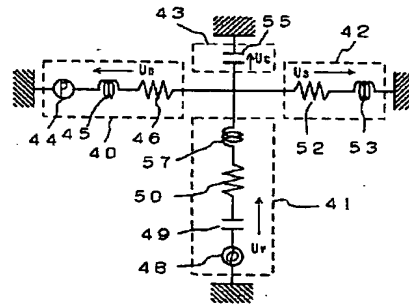
【図22】



【図8】



【図10】

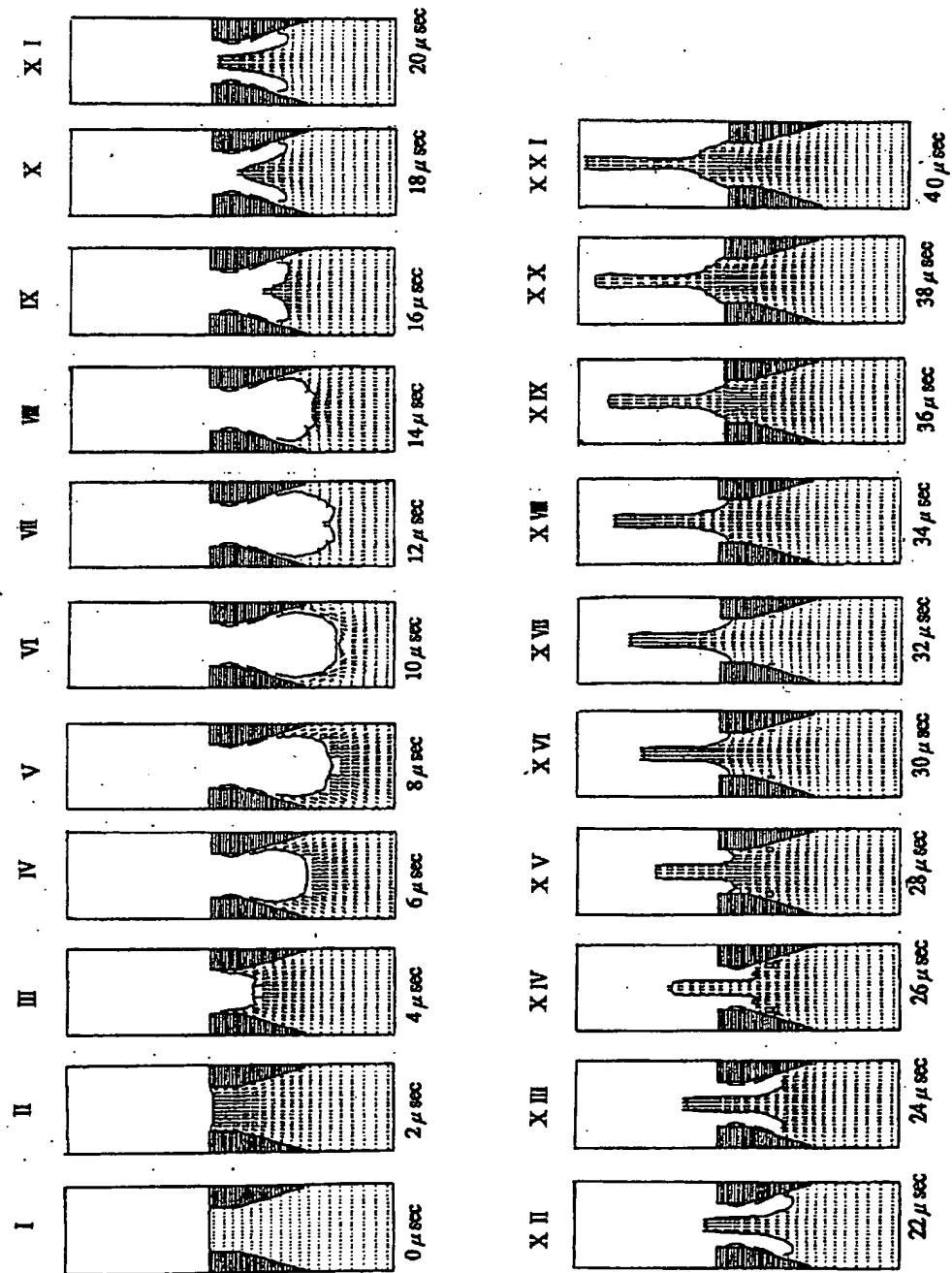


【図19】

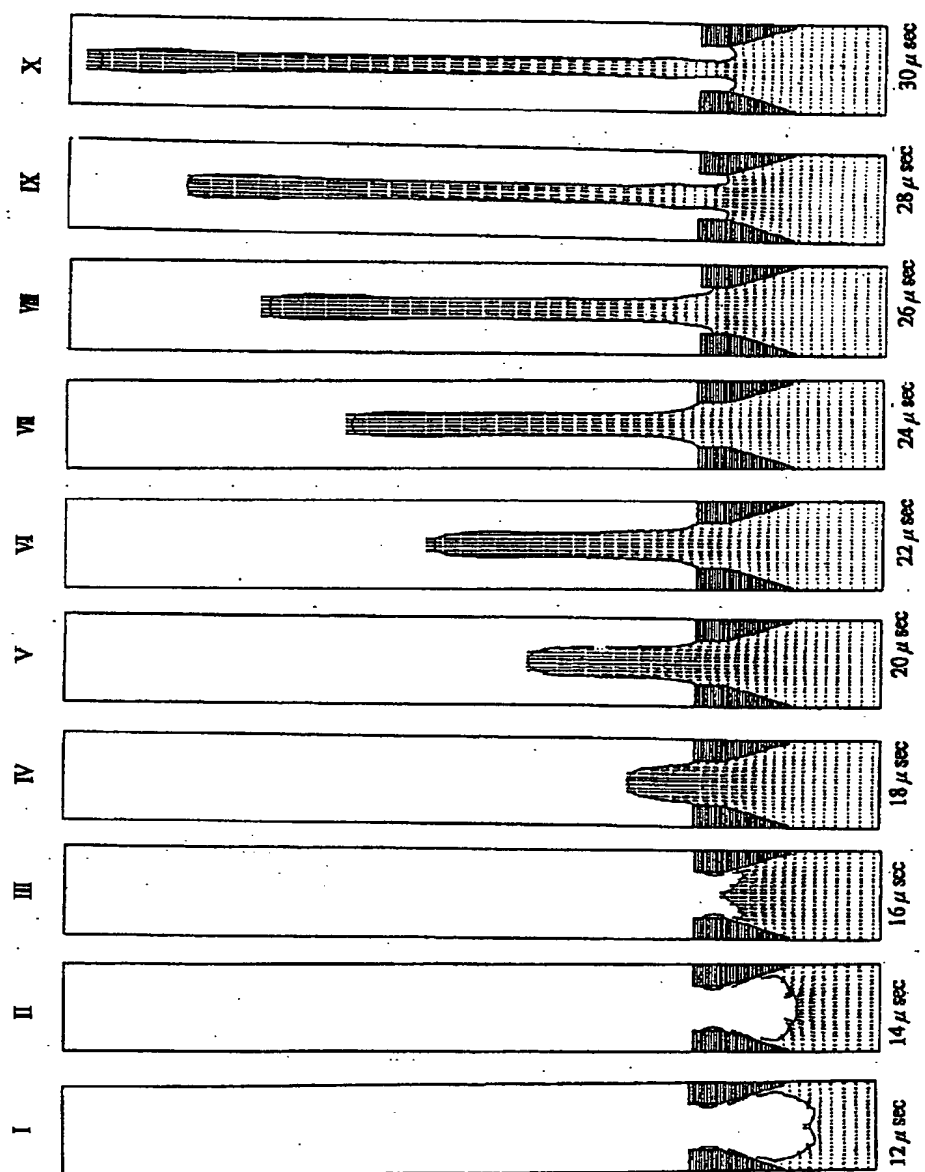
保持時間
(μs)

IX	2.0
IX	1.8
VIII	1.6
VII	1.4
VI	1.2
V	1.0
IV	.8
III	.6
II	.4
I	.2

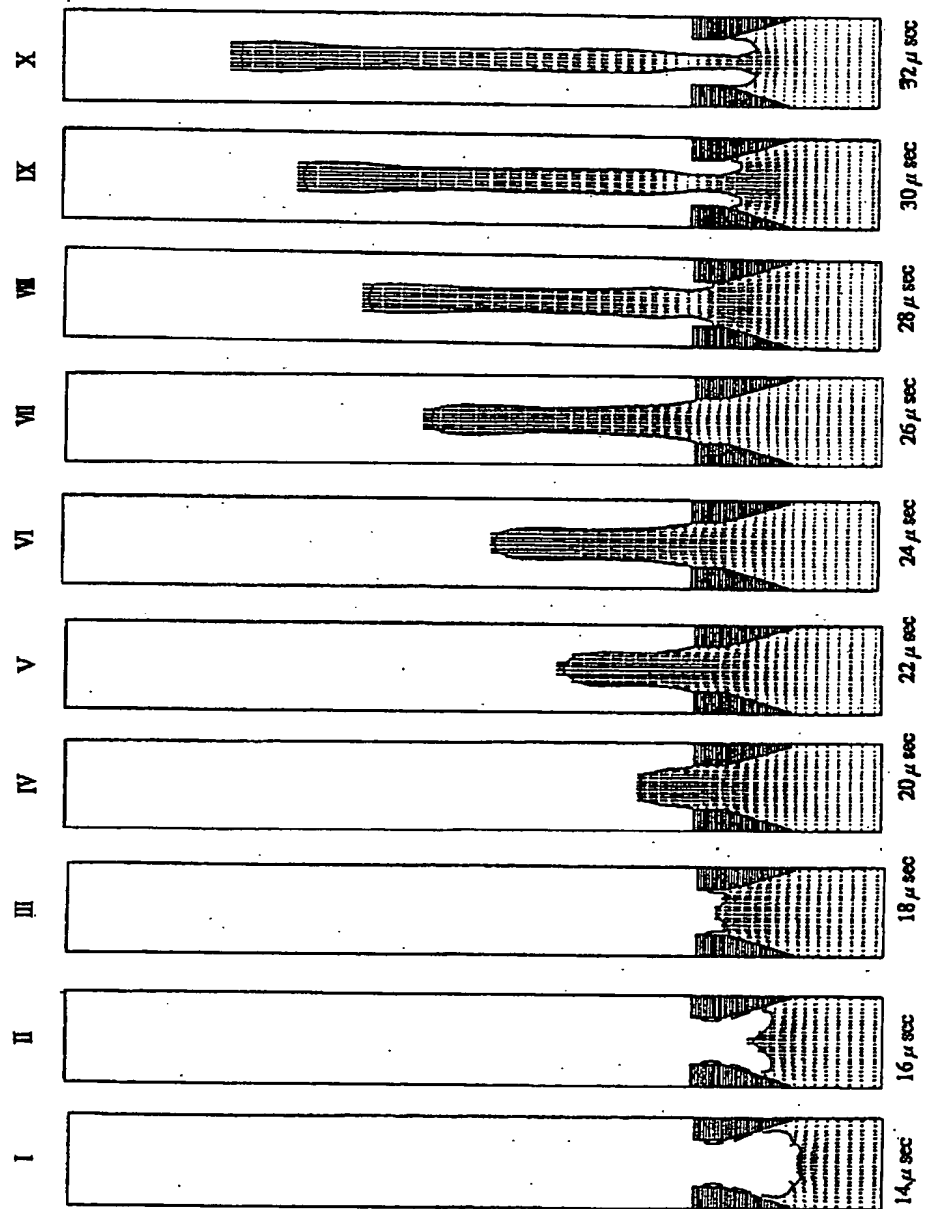
【図11】



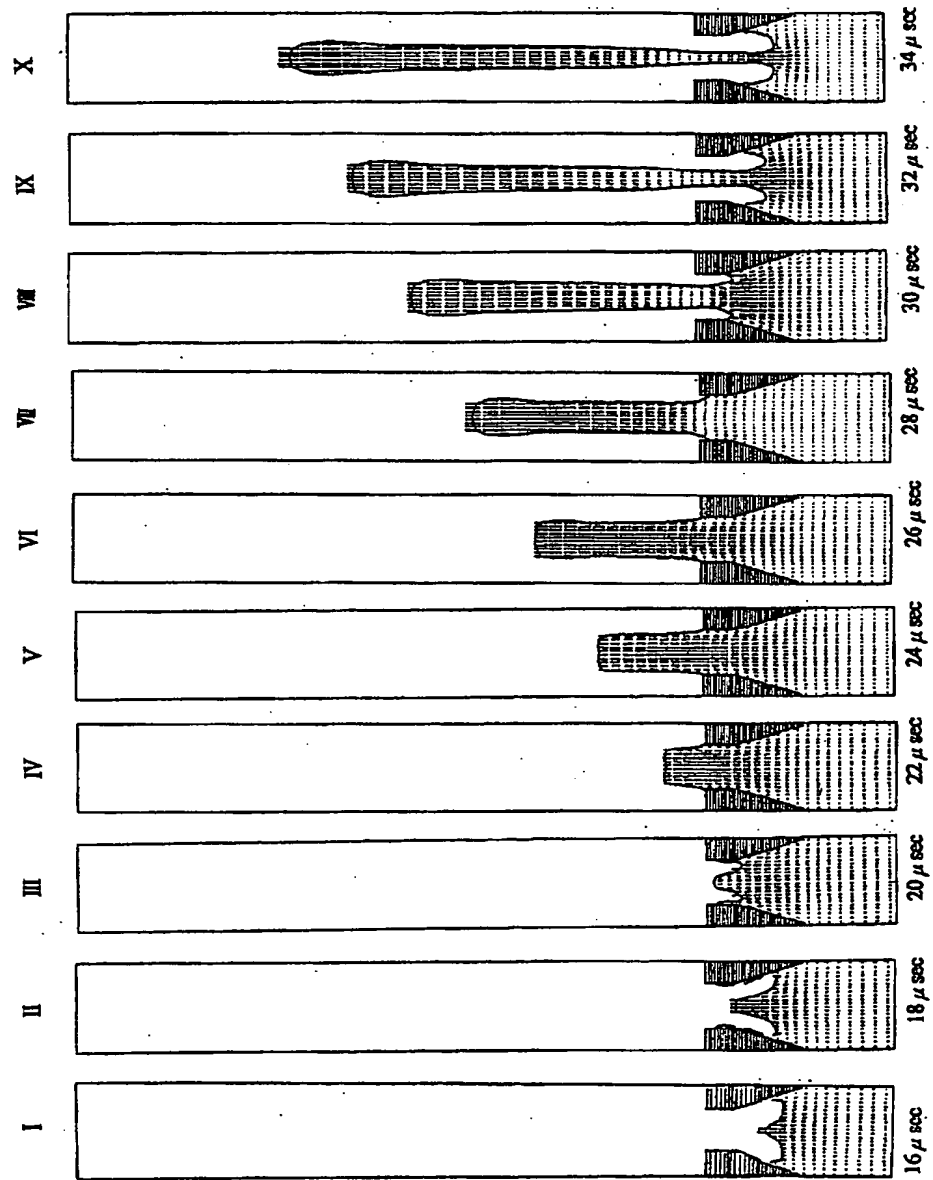
【図12】



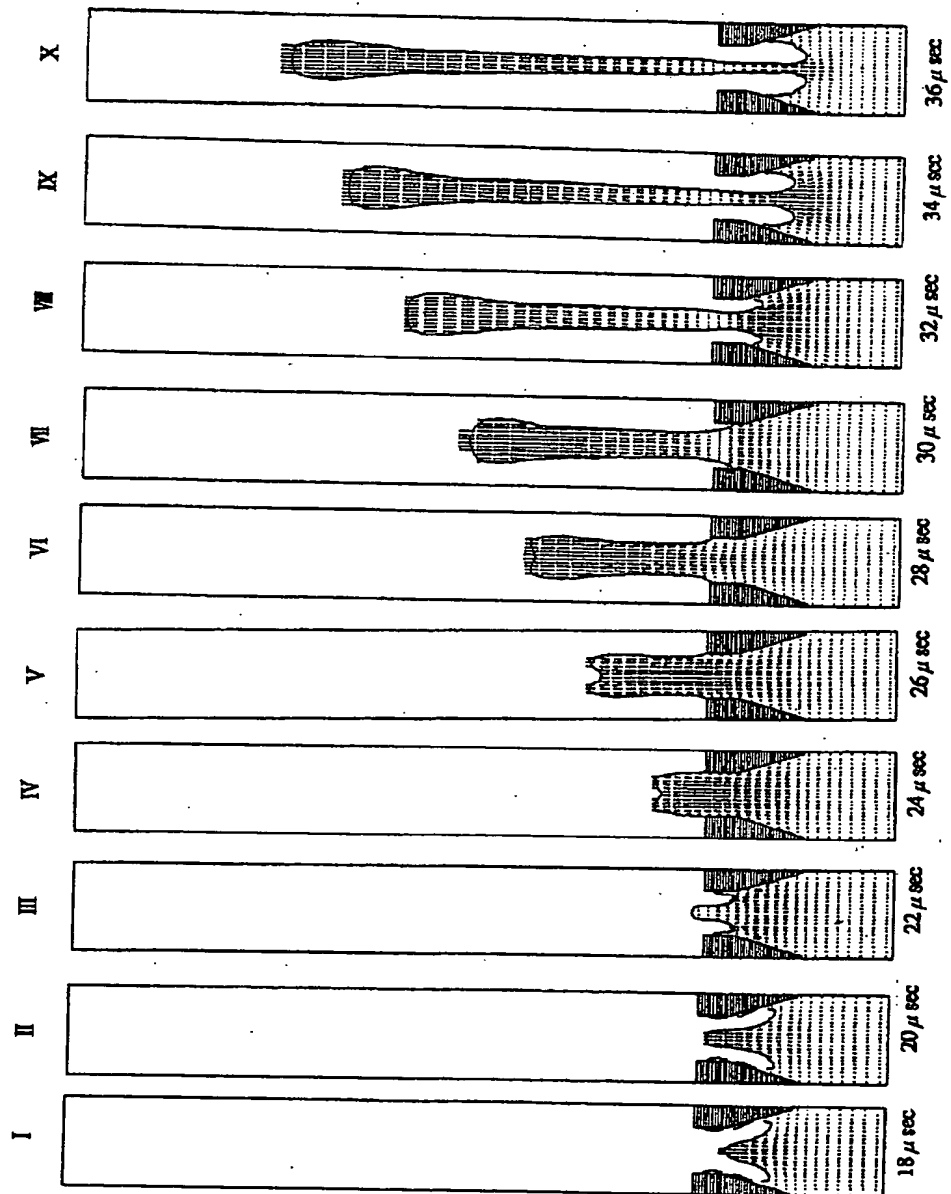
【図13】



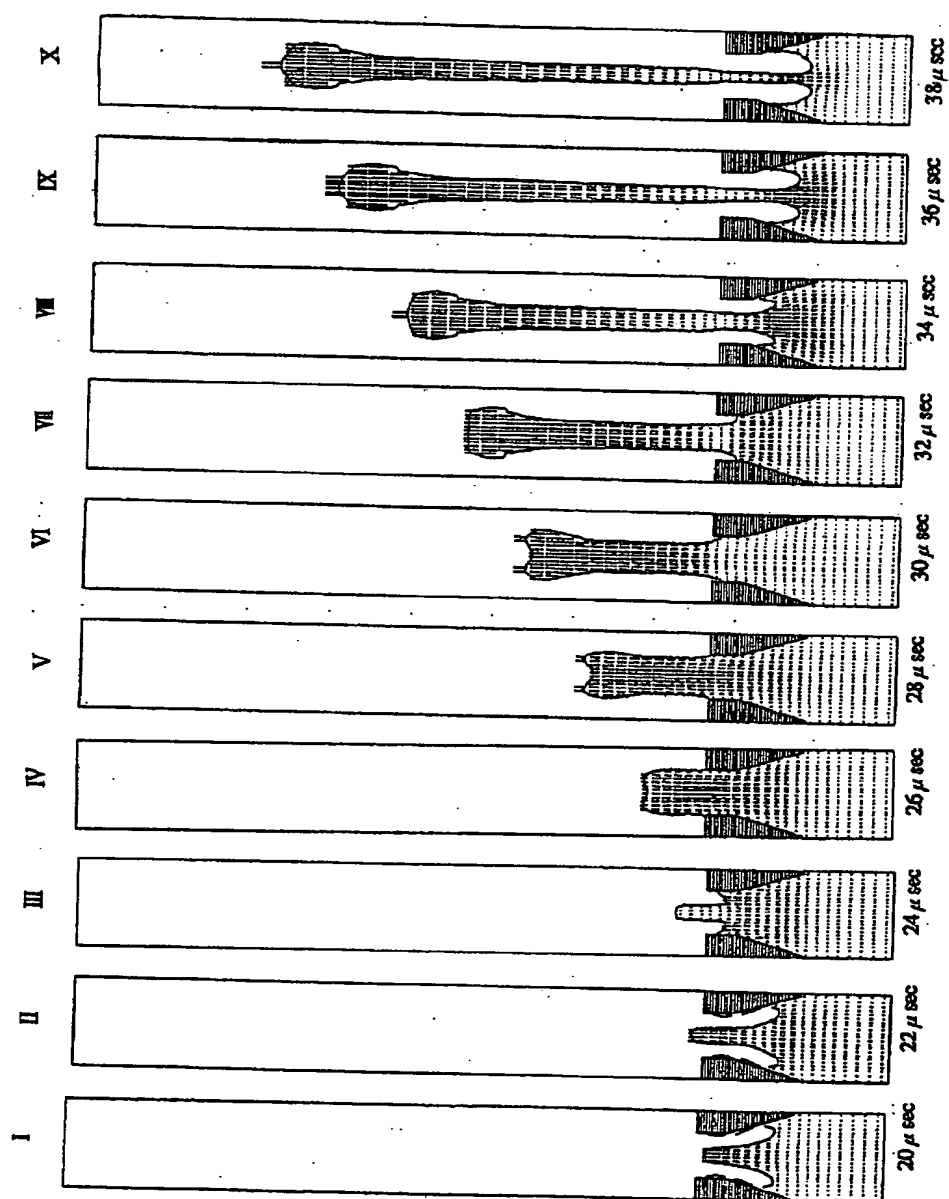
【図14】



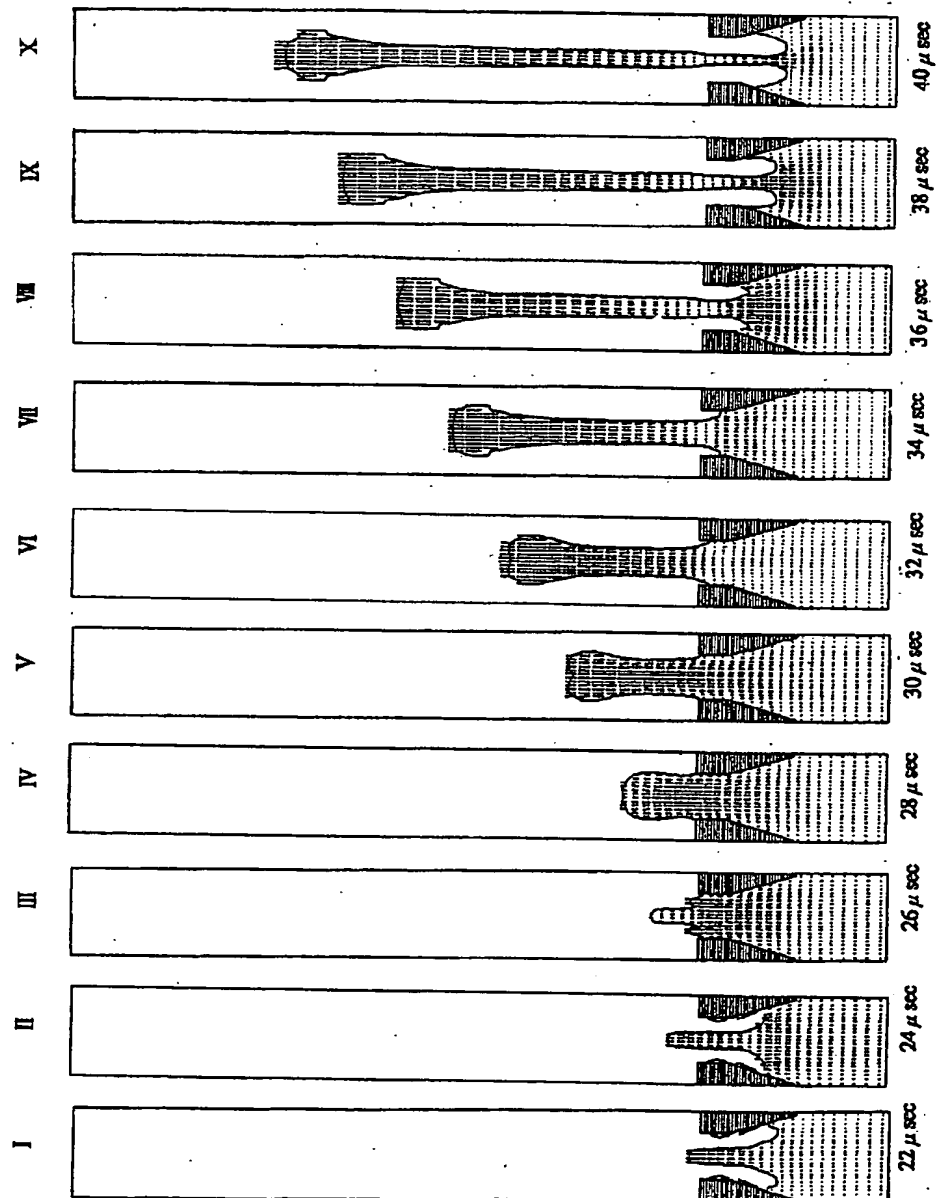
【図15】



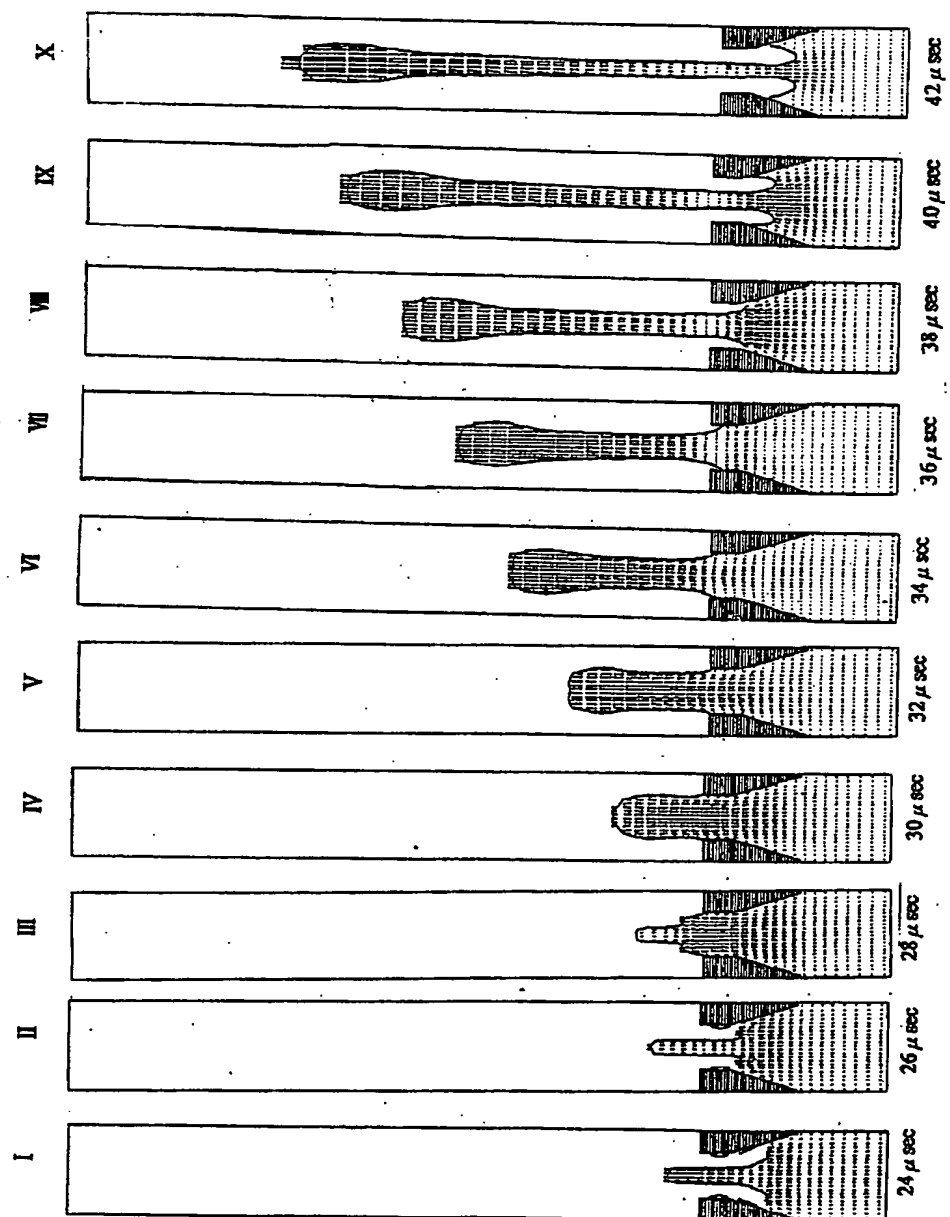
【図16】



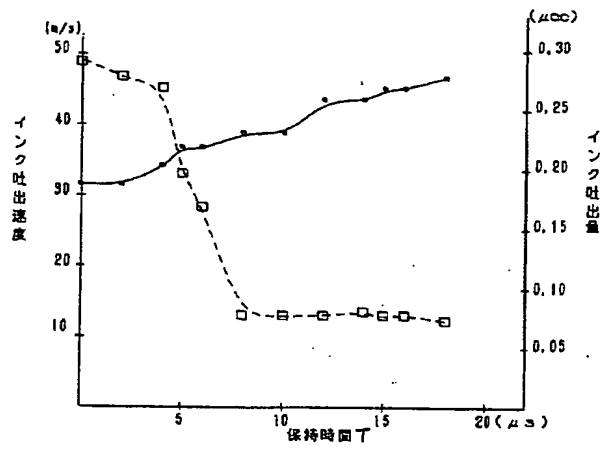
【図17】



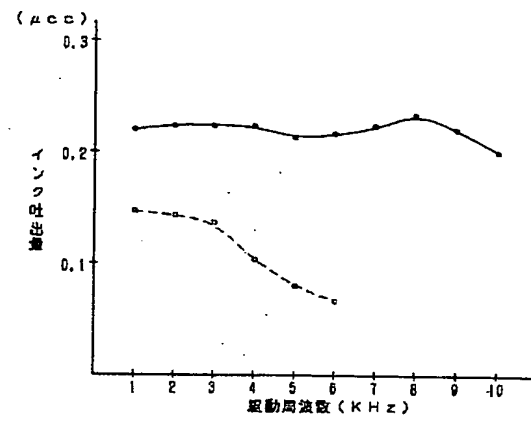
【図18】



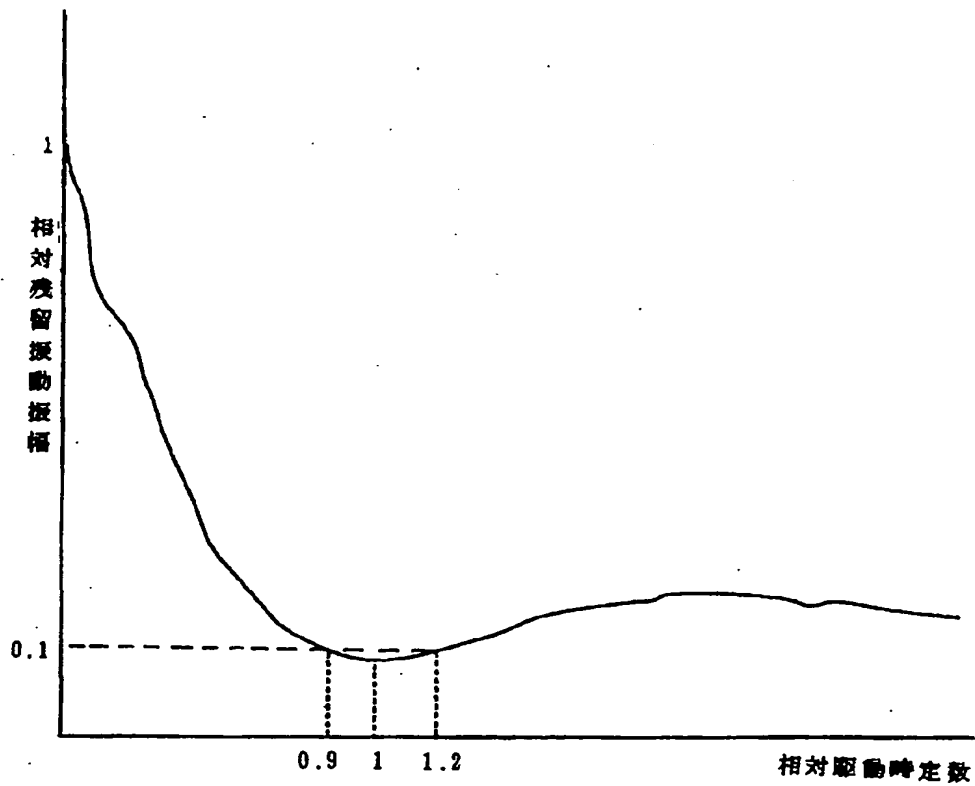
【図20】



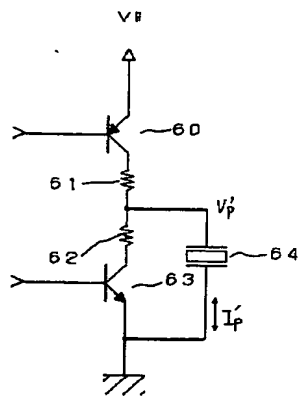
【図21】



【図23】



【図24】



フロントページの続き

(72)発明者 片倉 孝浩

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ
-エプソン株式会社内

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載
 【部門区分】第2部門第4区分
 【発行日】平成13年1月9日(2001. 1. 9)

【公開番号】特開平5-318731
 【公開日】平成5年12月3日(1993. 12. 3)
 【年通号数】公開特許公報5-3188
 【出願番号】特願平4-316632
 【国際特許分類第7版】

B41J 2/045
 2/055

【FI】

B41J 3/04 103 A

【手続補正書】

【提出日】平成11年7月21日(1999. 7. 21)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書
 【補正対象項目名】発明の名称
 【補正方法】変更
 【補正内容】

【発明の名称】 インクジェット式記録ヘッドの駆動方法、及び記録装置

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書
 【補正対象項目名】特許請求の範囲
 【補正方法】変更
 【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 ノズル開口と連通し、振動板を配置して圧力室を形成するとともに、前記振動板に固定された圧電振動子を備えたインクジェット式記録ヘッドの駆動方法において、前記圧力室の膨張により前記ノズル開口のメニスカスが後退し、以後の慣性流により前記ノズル開口から吐出する程度の速度で前記振動板をノズル開口から所定の位置まで後退させる第1の工程と、前記振動板を前記位置に保持する第2の工程と、第1の工程における前記メニスカスの後退量の1/3以上に前記メニスカスが前記ノズル開口側に復帰した時点で前記振動板をノズル開口側に前進させる第3の工程とからなるインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項2】 ノズル開口と連通し、振動板を配置して圧力室を形成するとともに、前記振動板に固定された圧電振動子を備えたインクジェット式記録ヘッドを駆動する装置において、前記圧力室の膨張による前記ノズル開口のメニスカスが後退し、以後の慣性流により前記ノズル開口から吐出する程度の速度で前記振動板をノズル開口から所定の位置

まで後退させる第1の電圧と、前記圧電振動子を収縮状態に保持する第2の電圧と、圧電振動子を伸長させる第3の電圧を発生するとともに、前記第2の電圧を
 $T \geq T_{im}$

(ただし、 T は、第2の電圧の保持時間を、また T_{im} は、第1の駆動電圧が定常状態に到達してからメニスカスが最後退位置から1/3まで復帰するまでの時間を示す)維持するインクジェット式記録装置。

【請求項3】 第1及び/または第3の駆動電圧の時定数を、前記圧力室の固有振動周期の0.9倍以上とした請求項2のインクジェット式記録装置。

【請求項4】 第3の駆動電圧の時定数を、前記圧電振動子の固有振動周期の0.9乃至1.2倍とした請求項2のインクジェット式記録装置。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書
 【補正対象項目名】0006
 【補正方法】変更
 【補正内容】

【0006】このような問題を回避するため、圧電振動子の縮小速度を可及的に低く設定してメニスカスの移動を少なくするとともに、メニスカスが元の位置に復帰して静止するまで一定時間、圧電振動子を収縮状態に保持し、それから第2の駆動電圧を印加して圧電振動子を伸長させるという駆動方法が用いられている。このような駆動方法によれば印字品質の安定を図ることができる反面、圧電振動子自体の高速応答性を十分に生かすことができないという新たな問題が生じる。本発明はこのような問題に鑑みてなされたものであって、その目的とするところは高い印字品質を維持しながら高速駆動することができる縦振動モードを利用したインクジェット記録ヘッドの駆動方法を提案することである。また本発明の第2の目的は、上記方法を適用したインクジェット式記録装置を提供することである。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書
 【補正対象項目名】0007
 【補正方法】変更
 【補正内容】
 【0007】

【課題を解決するための手段】このような問題を解消するために本発明においては、ノズル開口と連通し、振動板を配置して圧力室を形成するとともに、前記振動板に固定された圧電振動子を備えたインクジェット式記録ヘッドの駆動方法において、前記圧力室の膨張により前記ノズル開口のメニスカスが後退し、以後の慣性流により前記ノズル開口から吐出する程度の速度で前記振動板をノズル開口から所定の位置まで後退させる第1の工程と、前記振動板を前記位置に保持する第2の工程と、第1の工程における前記メニスカスの後退量の1/3以上に前記メニスカスが前記ノズル開口側に復帰した時点で前記振動板をノズル開口側に前進させる第3の工程とを備えるようにした。

【手続補正5】
 【補正対象書類名】明細書
 【補正対象項目名】0008
 【補正方法】変更
 【補正内容】
 【0008】

【作用】圧電振動子の収縮に伴ってメニスカスがノズル開口から後退するが、圧電振動子の収縮が停止する前後において、次の瞬間にノズル開口に向かう流れとなる。インクの慣性流の方向が切り換わり、元の位置から1/3程度まで復帰した時点で、圧電振動子を伸長させると、慣性流に圧電振動子の伸長による圧力がノズル開口近傍のインクに加わりインクを効率良くノズル開口から

飛翔させることになる。そしてメニスカスが元の位置から1/3以上復帰すると、メニスカスの位置に関りなく一定の速度でインク滴が飛翔するので、印刷されるドットの形状、サイズが安定する。

【手続補正6】
 【補正対象書類名】明細書
 【補正対象項目名】0038
 【補正方法】変更
 【補正内容】
 【0038】

【発明の効果】以上説明したように本発明においては、圧力室の膨張によりノズル開口のメニスカスが後退し、以後の慣性流によりノズル開口から吐出する程度の速度で振動板をノズル開口から所定の位置まで後退させる第1の工程と、振動板を前記位置に保持する第2の工程と、第1の工程における前記メニスカスの後退量の1/3以上にメニスカスがノズル開口側に復帰した時点で振動板をノズル開口側に前進させる第3の工程とを備えたので、圧電振動子の収縮時に生じるノズル開口近傍のインク流を積極的に利用するとともに、メニスカスの位置にインク滴の吐出速度が依存しない領域で圧力室圧縮が可能となり、これによって駆動繰り返し周波数の広い範囲にわたってインク滴のサイズや飛翔速度をほぼ一定に維持することができて、高速駆動可能な記録装置が実現できる。また、インク滴噴射時の充電、及び／または放電の立ち上がり、立ち下がり時間を圧力室及び圧電振動子の振動周期によって好適に設定するようにしたので、インク滴噴射後における圧電振動子を含む振動系の残留振動振幅を小さくできて、駆動繰り返し周波数を向上させることができる。